

Diseño de un sensor de nivel ultrasónico con aplicación en tanques reservorios de agua de los sistemas piscícolas.

Yeinner Andres Alvarez Cardona

Daniel Esteban Girón Lerma

MS.c Hernán Alberto Quintero Vallejo

Ingeniería Mecatrónica- Ciclo II Tecnología en Mecatrónica- Facultad de Tecnología

Universidad Tecnológica de Pereira

2020

Introducción

Los sistemas de monitoreo de peces se han desarrollado con el fin de automatizar los procesos piscícolas con el fin de obtener un mayor rendimiento cuando se refiere a mejorar la producción de este ser vivo, la implementación de nuevas tecnologías resulta de gran ayuda para establecer un ambiente óptimo para que así el pez pueda crecer y reproducirse de manera cómoda, las variables que interfieren en estos espacios si no se tiene un buen control pueden llegar al punto de provocar un deceso entre los alevinos que se encuentran en ese espacio cerrado, el flujo de agua constante para una oxigenación dentro del recinto, una temperatura adecuada, un nivel de agua constante y un pH balanceado, son factores que no se pueden dejar a la deriva, por el contrario se debe de hacer un seguimiento para otorgarle al pez un ambiente estable en el que pueda llegar hasta su etapa de comercialización.

El siguiente proyecto consta de un diseño de un sensor ultrasónico enfocado en los tanques reservorios de agua, este proyecto constara de tres etapas, las cuales consisten en el desarrollo de la tarjeta electrónica por medio del software EAGLE, la segunda etapa constara del diseño de la caja protectora o carcasa que cubrirá el instrumento de medición, esta etapa se realizó en el programa Inventor Professional 2019 y por último se observara una interfaz básica entre el sensor y un computador desarrollado en LabVIEW 2013, el cual tendrá como función el monitoreo a distancia de que está censando el dispositivo y dar al usuario conocimiento de cantidades de agua que se encuentran en el tanque reservorio.

El diseño de la tarjeta electrónica se realizó en una PCB doble fas dando una mayor comodidad al momento de realizar las conexiones entre elementos, y para la transmisión de datos se hicieron todos los arreglos con base de un XBee, el cual consta con una cobertura lo suficiente para transmitir datos en el ambiente de trabajo.

El sensor seleccionado fue el HC-SR04, el cual tiene compatibilidad con la tarjeta electrónica Arduino y con el XBee.

Tabla de contenido

Planteamiento del problema	7
Justificación.....	10
Objetivos.	12
Objetivo general	12
Objetivos específicos	12
CAPÍTULO 1.	13
Marcos de referencia.....	13
Marco teórico	13
Marco histórico.....	14
Marco conceptual.	16
Marco normativo.	18
CAPÍTULO 2.	21
Panel solar y cálculos teóricos.....	21
Cálculo del panel solar.	24
Batería.	28
Cálculo de batería.	28
CAPÍTULO 3.	31
Dispositivos y diseño electrónicos.....	31
Arduino UNO	31
Sensor ultrasónico HC-SR04.....	32
XBee ZB S2C TH.....	34
Módulo cargador baterías litio TP4056 micro USB 5V – 1A.	37
Pila 18650.	37
Convertidor DC-DC Boost USB 5V – 600mA elevador de voltaje.....	38
Software Eagle.....	39
Diagrama de conexiones	42
CAPÍTULO 4.	43
Carcasa y soporte para componentes	43
CAPÍTULO 5.	49

Interfaz básica entre dispositivo de medición y usuario	49
Interfaz básica	52
Resultados	54
Conclusiones.....	55
Recomendaciones	56
Bibliografía.....	57

Tabla de figuras.

Figura 1. Panel solar monocristalinos.	22
Figura 2. Panel solar policristalino.	23
Figura 3. Panel solar de capa fina o amorfos.....	24
Figura 4. Arduino UNO.	32
Figura 5. Sensor ultrasónico HC-SR04.....	33
Figura 6. Diagrama de conexión sensor HC-SR04 con el Arduino UNO.....	34
Figura 7. Modulo Xbee S2C TH.	36
Figura 8. Diagrama de conexión XBee con Arduino UNO.....	36
Figura 9. Módulo carga y descarga TP4056.....	37
Figura 10. Pila 18650.....	38
Figura 11. Elevador Boost USB DC-DC	39
Figura 12. Sistemático del circuito.	41
Figura 13. Board del sensor ultrasónico.....	41
Figura 14. Mapa de conexiones.	42
Figura 15. Dimensiones de la tarjeta electrónica.	44
Figura 16. Planos carcasa parte 1.	45
Figura 17. Planos carcasa parte 2.	46
Figura 18. Soporte panel solar.....	47
Figura 19. Diseño de carcasa terminada.	48
Figura 20. Carcasa y panel solar.....	49
Figura 21. Simbología de un diagrama de flujo.	50
Figura 22. Diagrama de flujo.	51
Figura 23. Xbee explorer USB.	52
Figura 24. Diagrama de bloques.	53
Figura 25. Panel frontal.....	54

Índice de tablas

Tabla 1. Cálculo de potencias.....	25
------------------------------------	----

Planteamiento del problema

Desde la era de bronce-hierro la crianza de animales es fundamental para la alimentación del ser humano [1]; la más conocida es la crianza de bovinos, es decir la ganadería, la cual por su alta productividad de carne y leche proveniente del animal, resulta favorable para la alimentación de las personas; además el criado de bovinos genera ventajas ante los cultivos, dado que el material orgánico generado por las reses posee nutrientes que las plantas usan para su crecimiento; pero la crianza excesiva de este animal tiene situaciones poco favorables con el medio ambiente, como lo son la producción de gases de efecto invernadero, estos afectan la salud del ser humano, y no solo eso, también el gas altera la salud del animal, disminuyendo el consumo de alimentos y por ende perjudicando el crecimiento del animal. Otra situación que ocasiona la crianza descontrolada de reses se ve reflejado en la tierra, dada la gran cantidad de estiércol producida por el animal, viéndose reflejado en las aguas subterráneas, de esta manera deteriora el equilibrio del ecosistema [2].

La federación colombiana de ganaderos informo que en el año 2018 Colombia produjo 935 toneladas de carne de res, están por debajo de potencias mundiales como Estados Unidos que produjo en ese mismo año la cifra de 12.601 toneladas, también países como China que produjo en el 2018 una valor de 7325 toneladas, y en el ámbito sur americano países como Brasil produjeron 9900 toneladas en el años 2018 y Argentina tuvo una producción de 2915 toneladas en ese mismo año, estas cifras dan argumentos de la importancia de la carne de res en la vida del ser humano_[3].

Otra fuente de alimentación derivada de la crianza de animales, es la avicultura, la cual es la crianza de aves, como lo son, los pollos, patos, pavos, entre otros; además de su carne muy rica en proteína, y la producción de huevos por grandes cantidades, influyen directamente en la alimentación del ser humano, teniendo un alto enfoque y un crecimiento muy rápido en la industria moderna, pero como la ganadería, la avicultura también tiene aspectos que alteran el medio ambiente, como lo son la producción de gases provenientes de los desechos de estos animales [4].

Cifras de la cámara de comercio de Santiago de Cali, indican que en el año 2018 se tuvo la mayor producción de carne de pollo refiriéndose a proteína blanca en Colombia, teniendo un valor de 1.6 millones de ton, seguida la producción de huevo de un valor de 876 mil ton [5].

De esta manera, otra forma de criar animales es la piscicultura o la acuicultura, la cual trata sobre la crianza de animales acuáticos. Como las anteriores, esta tiene como ventaja la producción de carne influyendo a los seres humanos en sus hábitos alimenticios, pero el constante desarrollo de peces genera cambios en el medio donde se cultivan, en un estudio realizado por, Mauro Mariano; Pedro Huaman; Egma Mayta; Haydee Montoya y Magda Chanco en el año 2010 [6], nos dice que:

*“Se reportan los cambios producidos por el cultivo intensivo de la trucha *Oncorhynchus mykiss* en siete lagunas andinas. Las observaciones se realizaron en el año 1996, y entre el 2002 - 2007 y permitieron observar el proceso de deterioro de las lagunas, caracterizado por el incremento en las concentraciones de fósforo total y la disminución del oxígeno disuelto y la transparencia.”*

En la república de Colombia se obtuvo una producción de acuicultura por medio de cultivo de un valor de 97.600 toneladas de pescado en el año 2017 un estimado. Según la Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) [7].

Para lograr mitigar estos aspectos en el medio ambiente, resulta fundamental la implementación de aparatos tecnológicos, enfocados en los procesos de crianza de animales, en el caso particular de la piscicultura, que puede ser tratada en lagunas naturales o en tanques ya establecidos, resulta beneficioso y factible empezar con la automatización del proceso si la crianza del animal se está desarrollando en tanques, dado que se puede tener mayor control con las variables que afectan el contexto al cual es sometido el animal. Además, el campo piscícola comparado con el campo de la ganadería lleva un atraso considerable en cuanto a estudios e implementación tecnológica [8].

En el caso de los animales terrestres, todo el conocimiento que se ha adquirido, ha sido a través de la interacción con el animal, mientras que en el campo piscícola, dada la poca proximidad que se tiene con el pez, la única información que se ha obtenido ha sido gracias a instrumentos tecnológicos, estos dispositivos como cámaras de vigilancia y sensores (temperatura, nivel, PH.) permiten conocer el hábitat

al cual se someten los peces, [9] así mismo, es difícil conocer el estado de un pez y resulta más complejo cuando se habla de un número significativo de peces que se encuentran en un espacio cerrado. Estudios recientes, sostienen que avances tecnológicos aplicados a la piscicultura, tienen una gran acogida y no solo eso, sino estos dispositivos electrónicos ayudan a que el hábitat del pez tenga condiciones estrictas para que su desarrollo y reproducción sea la adecuada, como nos dice Luis F. Collazos Lazo en su documento Fundamentos de la tecnología Biofloc (BFT). Una alternativa para la piscicultura en Colombia; él nos muestra resultados obtenidos por tecnologías (BFT), donde se tiene un desarrollo de levante y engorde de cachama blanca, donde ejemplares alcanzan un valor de 450g en 192 días, partiendo de un valor estimado de 48g [10].

Para tener un mayor criterio enfocado al cuidado y crianza de los peces, se han implementado instrumentos tecnológicos, provocando dificultades en el proceso, debido a que en algunas ocasiones no cuentan con suficiente capital económico para adquirir estos productos. Por esta razón, se presenta una ausencia de tecnología, generando retraso en el proceso, dado que no se tiene información confiable de las variables físico-químicas e información de cómo se encuentra el pez, viéndose reflejado en la pérdida de producción de alevinos. Si la crianza de peces se está realizando en tanques ya predestinados, resulta fundamental tener un tanque reservorio, el cual almacene agua, así pues, sea distribuida cuando se necesite una renovación del agua o cuando el nivel del agua en los tanques este por debajo del valor requerido. También produciendo indirectamente una oxigenación dentro del depósito, teniendo ventajas en el hábitat del pez y viéndose reflejado en el aumento de peces.

Para esto, se llevará a cabo el diseño de un sensor de nivel ultrasónico, el cual emite un sonido que se transforma en ondas y su medición se basa en el tiempo que se demora en alcanzar su objetivo y regresar; el dispositivo estará ubicado al interior del tanque reservorio, con ciertas características de funcionamiento, entre las que se detallan la capacidad de medir de forma precisa y constante el nivel de agua que se encuentra en el tanque reservorio; además, no se verá afectado por residuos externos, también permitirá al usuario tener información sobre el nivel actual del depósito de agua. Para el funcionamiento del sensor, se plantea que su fuente de alimentación eléctrica sea por medio de energías renovables, más específicamente el uso de la energía solar. Esto también llevará a cabo la implementación de nuevas tecnologías a la piscicultura permitiendo el avance de un campo importante en la vida diaria de las

personas, de esta manera incorporar tecnologías independientes al uso de energía eléctrica la cual perjudica al medio ambiente y al ser reemplazada por una energía renovable se busca aportar al cambio climático.

Por tal razón, se busca diseñar un sensor de nivel energéticamente sustentable, es decir, el dispositivo funcionará de manera autónoma, debido a las energías renovables, puntualmente en la energía solar que será su fuente de alimentación eléctrica y con comunicación inalámbrica que pueda facilitar la vida diaria de un piscicultor, en cuanto a la comodidad y confiabilidad.

Justificación

Las variables físico-químicas en el ambiente de un pez resultan esenciales para su óptimo desarrollo, dado que los parámetros que influyen en el sistema deben tener valores predestinados. Un ejemplo es el cultivo de tilapia roja, esta especie se destaca entre las demás por sus amplios límites de tolerancia, adaptándose a diferentes condiciones de calidad de agua; comparándose con otras especies, sus rangos ideales para el cultivo son: temperatura 27 y 32°C, oxígeno disuelto 5.0 y 9.0 mg/l, pH 6.0 y 9.0 y el amonio total debe de ser 0.1 mg/l. [11]. Dado estos valores, la tilapia puede crecer y reproducirse de manera efectiva. Si no se cumple con esta condición puede causar mortandad o bajar la producción y reproducción en los animales, por lo que resulta conveniente la implementación de tecnologías en el campo piscícola. Estas tecnologías influyen de manera directa para el criador, debido a que puede distribuir su tiempo en otras labores diferentes al proceso, mientras que, los sensores son los encargados de supervisar y vigilar cualquier anomalía en el sistema, de ser así, estos dispositivos pueden dar aviso en caso de que se perturbe el proceso y brindar información confiable para evitar pérdidas a futuro [12].

Los sensores pueden ir equipados con paneles solares para su carga y funcionamiento tanto de día como de noche, abriendo un campo que permite la reducción de energía eléctrica y encaminarse por las energías renovables, así atacando un problema directo que se enfoca a la problemática ambiental. Además, cifras del banco mundial establece que, en Colombia, existen zonas rurales que no cuentan con suministro

eléctrico estable, donde el 97% cuenta con este servicio, estando por debajo de países del mismo continente como Argentina (99.8%), Brasil, Costa Rica (99.5%) y Chile (99.6%) [12].

Colombia es un país en el cual algunas de sus regiones basan su economía en la reproducción y consumo de especies acuícolas, que no cuentan con automatización en estos procesos, dado que aún se encuentran granjas donde estas tareas son realizadas de manera artesanal sin poder controlar aspectos físico-químicos del proceso [12].

El tanque reservorio cumple un papel fundamental cuando se habla acerca de la piscicultura, su función principal es la de brindar un flujo de agua cuando sea requerido, dado que, se necesite una renovación de agua, debido a que el agua de los tanques piscícolas se encuentre sucia o el nivel del agua este por debajo del valor requerido, así el tanque reservorio abastecerá los tanques donde se encuentran los peces. Estos tanques reservorios pueden variar su tamaño entre 3 y 7 metros de diámetro, con lo cual también varía la cantidad de agua entre 8 y 46 metros cúbicos. Con la realización de un sistema electrónico que permita conocer el nivel actual de agua en el tanque reservorio, se podrán obtener datos relacionados a esta variable que influye en el hábitat del pez. Por ejemplo, si el nivel de agua es muy bajo se puede presentar problemas de oxigenación en el tanque donde se encuentra el alevino.

Además, el sensor contará con una alimentación solar, mostrando un avance tecnológico y generando un cambio a nivel ecológico, es decir, esta conexión beneficiará el medio ambiente con respecto al ahorro eléctrico y su debida implementación. El dispositivo también contará con una base de datos que almacenará toda la información captada, siendo un soporte constante a los datos medidos por el sensor, permitiendo al usuario verificar que el proceso se cumpla correctamente.

La implementación de una alarma resulta fundamental para el proceso, puesto que, si llegase a ocurrir un inconveniente relacionado con la falta de agua en el tanque reservorio, afectará directamente a los peces. Con lo dicho anteriormente surge la siguiente pregunta ¿Es posible diseñar un sensor ultrasónico para la medición de nivel en los tanques reservorios de los sistemas piscícolas?

Objetivos.

Objetivo general

Diseñar un sensor de nivel ultrasónico energéticamente sustentable y con comunicación inalámbrica, para el monitoreo continuo de tanques reservorios de agua en los sistemas de producción piscícola.

Objetivos específicos

- Diseñar el circuito electrónico que permita el funcionamiento adecuado del sensor de nivel ultrasónico.
- Diseñar una carcasa para el sensor de nivel ultrasónico, la cual sirva de protección a los ambientes que el sensor se exponga.
- Diseñar el programa para el microcontrolador que permita leer y enviar los datos inalámbricamente.
- Plantear una interfaz básica para la recolección de los datos del sensor.

CAPÍTULO 1.

Marcos de referencia

Marco teórico

América latina en los últimos años ha avanzado de una manera sorprendente en la crianza de peces; muchos de los países trabajan a diario para ser competitivos y crear productos de calidad con procesos tecnificados, Por ejemplo, “en países como Colombia existen varias regiones que se especializan históricamente en la reproducción y consumo de especies y basan sus actividades en esta labor” [13]. Por ello la ONU explica que: “La tecnología y los sistemas utilizados en la acuicultura han progresado aceleradamente en los últimos 50 años. Varían desde unos muy sencillos, (como los estanques familiares en los países tropicales, cuya producción se destina al consumo de los hogares) hasta otros de alta tecnología (como los sistemas cerrados de producción intensiva para exportación). Gran parte de la tecnología que se utiliza en la acuicultura es relativamente sencilla, muchas veces basada en pequeñas modificaciones que incrementan las tasas de crecimiento y supervivencia de las especies en cría, es decir, mejoran los alimentos, los alevinos, los niveles de oxígeno y la protección frente a los depredadores. Casi la mitad de la producción acuícola mundial consta de sistemas sencillos de pequeños estanques de agua dulce, utilizados para la cría de peces herbívoros y filtradores” [14].

En este orden; “Los avances en la ingeniería, algunos procedentes de la construcción de plataformas de extracción petrolera en mar abierto, incrementan las posibilidades de la acuicultura en mar abierto utilizando robustas jaulas. Desde hace mucho tiempo se practica en aguas dulces y para las especies anádromas (como el salmón) la pesca de captura basada en la cría, que consta en la liberación de alevinos en el medio natural para mejorar las capturas (operación también denominada repoblamiento, mejoramiento de las poblaciones o suelta con recuperación), pero su viabilidad a largo plazo todavía está en evaluación. Asimismo, se están realizando importantes avances en la acuicultura basada en la captura, que consta en el engorde de alevinos (atún, por ejemplo), pescado en el medio natural. Se están evaluando los posibles conflictos con la pesca de captura. También se están produciendo muchos adelantos en la

tecnología de la producción de peces para la acuicultura, que generalmente exigen la combinación de muchos ingredientes en gránulos de alimento muy pequeños” [14].

Por ello, “Las herramientas tecnológicas permiten acceder a la información en tiempo real, con independencia de las distancias, lo cual permite el ahorro de tiempo y de costos y la disminución de errores sistemáticos” [15]. Sin embargo “con frecuencia se encuentran granjas piscícolas que realizan labores artesanales y no cuentan con herramientas tecnológicas que les permitan automatizar los procesos y maximizar sus ganancias, por lo cual dejan de percibir recursos económicos valiosos” [16]. En este sentido algunos estudios como el de la Universidad Católica del Perú donde se elaboró “un sistema para controlar el paso de agua mediante válvulas que se pueden abrir y cerrar por parte del usuario o cuando el sistema detecta un nivel de agua bajo. También se presenta información sobre la temperatura y el pH. Estas variables se transfieren mediante puertos RJ45 conectados a los sensores. La medición de las variables tiene una exactitud del 98,1 %” [17], por lo cual: “Factores como la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH, entre otros, son de vital importancia en el estado de los peces. Por ejemplo, algunas especies pueden dejar de comer y llegar a la muerte si estos valores no se encuentran en un rango específico” [18].

En Colombia un país que se encuentra a la vanguardia del tema, se han desarrollado estudios con base en tener un espacio automatizado y controlado en las variables físicas, además se implementan tecnologías como la comunicación a distancia, todo esto con el desarrollo de una red WSN (Wireless Sensor and Actuator Network) de tipo Mesh por medio del estándar IEEE IEEE 802.15.4 y ZigBee, configura de manera óptima una estimación del comportamiento del cultivo, presentando un error entre mediciones del $\pm 5\%$ [19].

Marco histórico

La piscicultura o el cultivo de peces, se dio por primera vez en países como Babilonia, Grecia, China, Egipto, Roma, “ Las referencias más antiguas datan en torno al 3500 a.c., en la antigua China. En el año

1400 a.c, ya existían leyes de protección frente a los ladrones de pescado. El primer tratado sobre el cultivo de carpa data del 475 a.c, atribuido al chino Fan-Li, también conocido como Fau Lai” [20]. Sin embargo, algunos griegos escribieron sobre cultivos como las ostras, así como los estanques de cultivo, y aun cuando no es clara en la historia cuales eran los métodos que utilizaban, eran rentables y cubrían la necesidad de la alimentación de la época.

Así también en la cultura occidental, la acuicultura no recobró fuerza hasta la edad media, en monasterios y abadías, aprovechando estanques alimentados por cauces fluviales, en los que el cultivo consistía en el engorde de carpas y truchas. En el año 1758 se produjo un importante descubrimiento, la fecundación artificial de huevos de salmones y truchas por Stephen Ludwig Jacobi, un investigador austriaco, aunque su investigación no salió del laboratorio y quedó en el olvido. En 1842, dos pescadores franceses, Remy y Gehin, obtuvieron puestas viables, totalmente al margen del hallazgo de Jacobi. Lograron alevinos de trucha, que desarrollaron en estanque con éxito. El descubrimiento llevó a la Academia de Ciencias de París a profundizar en el hallazgo, y con ello la creación del Instituto de Huninge, el primer centro de investigación en acuicultura [20].

Esta ventaja se debe aprovechar para implementar procesos que mantengan información actualizada, real y precisa sobre el estado de los factores que se deben vigilar en la producción piscícola. Algunos de esos factores son la identificación y alimentación de los peces, el monitoreo de las características fisicoquímicas del agua y la regulación de los niveles de los estanques [21].

Un estudio realizado por la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), nos comunica que a medida que la población busca incorporar tendencias saludables y empezar a consumir alimentos sanos y saludables, el pescado es uno que cumple con todas estas características, teniendo alzas en sus números de manera significativa; de esta manera se ve necesario la implementación de sistemas automatizados, que estén monitoreando cada estanque, para así controlar la higiene y disminuir la mortalidad de los peces, evitando la proliferación de bacterias las cuales son perjudiciales para el ser humano [22].

Dado esto, en Colombia en el año 2014 se inició con la labor de realizar un estudio que permitiera controlar el ambiente de crianza de la trucha arcoíris, controlando variables del agua como temperatura, oxígeno disuelto, alcalinidad y niveles de agua en los tanques de producción, concluyendo a favor del uso de tecnologías, puesto que, se reduce el costo y la realización de labores repetitivas para la crianza de estos animales [22].

Para el año 2019, en el Perú se desarrolló un trabajo que consistía en el diseño de un programa de control automatizado para la calidad del agua en el proceso acuícola de la tilapia en Namballe – San Ignacio, el cual concluye que, con tener un control automatizado de las variables físico-químicas del agua, pH, temperatura, oxígeno, turbidez y amonio, puede suministrar un hábitat ideal para la crianza de tilapias [23].

Marco conceptual.

Piscicultura

“Es la crianza de peces, término bajo el que se agrupan una gran diversidad de cultivos muy diferentes entre sí, en general denominados en función de la especie o la familia. Las instalaciones de piscicultura industrial se conocen como piscifactorías, aunque este es un término en desuso, debido a la diversificación que ha sufrido el cultivo, en depósitos, estanques, jaulas flotantes, entre otros” [20].

Sensor.

“En la industria es un objeto capaz de variar una propiedad ante magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas con un transductor en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser, por ejemplo: intensidad lumínica, temperatura, distancia, aceleración,

inclinación, presión, desplazamiento, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica, etc” [24].

Por ende; “Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la magnitud que la condiciona o variable de instrumentación con lo que puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Por ejemplo, el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra” [24].

Sensor ultrasónico.

“Son detectores de proximidad que trabajan libres de roces mecánicos y que detectan objetos a distancias que van desde pocos centímetros hasta varios metros. El sensor emite un sonido y mide el tiempo que la señal tarda en regresar. Estos reflejan en un objeto, el sensor recibe el eco producido y lo convierte en señales eléctricas, las cuales son elaboradas en el aparato de valoración. Estos sensores trabajan solamente donde tenemos presencia de aire (no pueden trabajar en el vacío, necesitan medio de propagación), y pueden detectar objetos con diferentes formas, diferentes colores, superficies y de diferentes materiales. Los materiales pueden ser sólidos, líquidos o polvorientos, sin embargo, han de ser reflectores de sonido. Los sensores trabajan según el tiempo de transcurso del eco, es decir, se valora la distancia temporal entre el impulso de emisión y el impulso del eco” [17].

Así también, “este sensor, al no necesitar el contacto físico con el objeto, ofrece la posibilidad de detectar objetos frágiles, como pintura fresca, además detecta cualquier material, independientemente del color, al mismo alcance, sin ajuste ni factor de corrección. Los sensores ultrasonidos tienen una función de aprendizaje para definir el campo de detección, con un alcance mínimo y máximo de precisión de 6 mm. Las situaciones que presentan estos dispositivos son las zonas ciegas (blanking) así como de las falsas

alarmas. La zona ciega es la zona comprendida entre el lado sensible del detector y el alcance mínimo en el que ningún objeto puede detectarse de forma fiable” [17].

Panel solar.

Los paneles solares son objetos capaces de transformar la energía solar en energía eléctrica, están conformados por celdas solares, las cuales son fabricadas por materiales semiconductores como el silicio en su mayoría y adicionalmente se unen a su elaboración impurezas de elementos químicos, siendo capaces de producir una corriente de 2A a 4A cada celda fotovoltaica.

Los paneles fotovoltaicos son muy sensibles a la luz, tanto que transforman la energía solar en corriente continua, para obtener un mayor rendimiento se conectan en serie dependiendo de la aplicación que se administre, cuando el panel solar capta la luz del sol guarda la energía eléctrica ya transformada en acumuladores o baterías, para así suministrar dicha energía por las noches cuando no se cuenta con la luz solar; estos paneles funcionan hasta en climas nublados [25].

Arquitectura de las redes de comunicación WSN.

Según National Instruments en el 2009, define a la arquitectura de redes WSN (Wireless Sensor Networks) como una red inalámbrica que consta de un conjunto de dispositivos autónomos, estas redes constan de sensores capaces de monitorear condiciones físicas o ambientales. Un sistema WSN incorpora un Gateway que brinda una conexión inalámbrica entre dispositivos, capaz de transmitir datos de forma cooperativa entre dispositivos ubicados en otros contextos [19].

Marco normativo.

En Colombia según el artículo 2.16.5.2.10.1, permiso para realizar la acuicultura comercial, se quiere de un permiso para su obtención, el interesado debe de presentar a la AUNAP una solicitud con los requisitos que este señale.

La AUNAP establecerá el procedimiento para autorizar la realización de actividades de acuicultura experimental o científica. (decreto 2256 de 1991, Atr. 91)

Según el artículo 2.16.5.2.10.2 contenido del permiso. La AUNAP otorgará el permiso a que se refiere el artículo 2.16.5.2.10.1, hasta por diez (10) años, mediante acto administrativo el cual deberá contener lo siguiente:

1. Identificación del titular del permiso
2. Lugar en donde se realizará la actividad autorizada y área proyectada
3. Nombre de la fuente, corriente o depósito de aguas que soportara el cultivo e identificación del permiso o concesión para su utilización, cuando fuere de uso público.
4. Especie o especies cuyo cultivo se autoriza y volúmenes estimados de producción.
5. Actividades autorizadas, tales como: embrionaje, levante, engorde, reproducción, procesamiento y comercialización.
6. Autorización para obtener del medio natural la población parental, cuando así se solicite.
7. Término del permiso.
8. Causales de revocatoria y sanciones por incumplimiento,
9. Destino de la producción.
10. Los requisitos para la prórroga.
11. Obligación de presentar informes periódicos en la forma que establezca la AUNAP.

(Decreto 2256 de 1991. Art. 92)

Según el artículo 2.16.5.2.10.3. permiso para ejercer la acuicultura, en el ejercicio de la acuicultura el titular del permiso deberá solicitar a las entidades competentes los derechos de uso de terrenos, aguas,

costas, playas o lechos de ríos o fondos marinos que sean necesarios para el desarrollo de la actividad. (Decreto 2256 de 1991. Art. 93) [26].

También el proyecto de ley 025 de 2014 “Por la cual promueve y regula el aprovechamiento integral y sostenible de la pesca y acuicultura en los cuerpos de agua lacustres del país”. El congreso de la república de Colombia Decreta en el artículo cinco (5), parágrafo primero – A partir de la fecha de la sanción de la presente ley, todos los embalses que sean proyectado para cualquier propósito, salvo aquellos destinados como reservorios de agua para el consumo humano, deberán ser objetos de Planes de Ordenamiento Pesquero y Acuícola; igual el Parágrafo segundo – la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), dentro de sus procedimientos para otorgar nuevas Licencia Ambientales para la construcción de embalses con cualquier propósito, salvo aquellos destinados como reservorios de agua para el consumo humano, debe garantizar:

- a) La inclusión en estos cuerpos de agua de las actividades de pesca y acuicultura dentro de los programas de mitigación de impactos ambientales, sociales y económicos;
- b) La incorporación de estructuras y mecanismos que aseguren la reproducción de peces migratorios;
- c) La incorporación de volúmenes de agua embalsada para la alimentación de distritos de riego regionales;
- d) La incorporación de volúmenes de agua embalsada como reserva estratégica de agua para eventual consumo humano.

El ministerio de agricultura y desarrollo rural, según el decreto número 1780 de 2015, decreto único reglamento del sector administrativo agropecuario, pesquero y de desarrollo rural, en los relacionado con la adopción de medidas para administrar, fomentar y controlar la actividad de la acuicultura. (Estipula, que a su vez el Artículo 13 estipula que el INPA, hoy AUNAP, cumplirá la siguiente función: “Administrar, fomentar y controlar la actividad pesquera y acuícola, expedir las normas para su ejercicio

y establecer los trámites y requisitos para el otorgamiento de autorización, permisos, patentes, concesiones y salvoconductos...” [27].

CAPÍTULO 2.

Panel solar y cálculos teóricos.

Los paneles solares están conformados por células fotovoltaicas capaces de tomar la energía solar y transformarla en energía eléctrica, este proceso se da gracias a que los paneles solares están contruidos con base de materiales semiconductores los cuales se encargan de separar las cargas, de esta manera crean una capa positiva y una capa negativa generando una diferencia de potencial lo cual se convierte en energía eléctrica.

Los paneles solares convierten la energía proveniente del sol en corriente continua (DC), en el mercado se pueden encontrar paneles de 5V, hasta paneles de 12V. La celda fotovoltaica es una fuente de energía renovable, capaz de sustituir métodos de obtención de electricidad convencionales, por ejemplo, uno de ellos es el hidráulico. Además, la energía solar convierte un sistema que altera a el medio ambiente, a un sistema que no afecta el medio en el cual se implementa.

De acuerdo con [28], hay diferentes paneles solares, siendo los paneles de capa fina o amorfos de mayor importancia en el mercado, son los conformados por capas finas de cobre, indio y selenio (CIS) o de cobre, indio, galio y selenio (CIGS) y por último los paneles de capa fina conformado por los materiales cadmio y telurio (CdTe).

Los paneles monocristalinos (véase figura 1), se fabrican partiendo de los materiales del silicio puro y del boro, este tiene una eficiencia mayor que los policristalinos, llegando a tener una eficiencia cercana al 24% en pruebas de laboratorio, mientras que su rendimiento comercial varía entre 17 y 20%, este

factor influye en cuando a obtener mayor potencia de los paneles solares ya cuando se tiene para la instalación un espacio corto, otra de sus características, es la vida útil del panel, ya que esta suele ser mayor a la de los paneles policristalinos. Estas características influyen directamente en su costo, dado que estos son de un costo superior al de los paneles policristalinos.



Figura 1. Panel solar monocristalinos (Fuente AutoSolar).

Los paneles policristalinos tienen una composición igual al de los paneles monocristalinos (véase figura 2), su diferencia radica en las etapas de cristalización siendo estas menores, estos paneles tienen una eficiencia de laboratorio alrededor del 19%, mientras que su rendimiento comercial está en un rango de 13 y 15%, dado estos valores, hace que el panel policristalino tenga un costo menor y un mejor comportamiento en temperaturas altas, teniendo estas características los paneles policristalinos pueden generar un mejor resultado que el resto de los paneles.

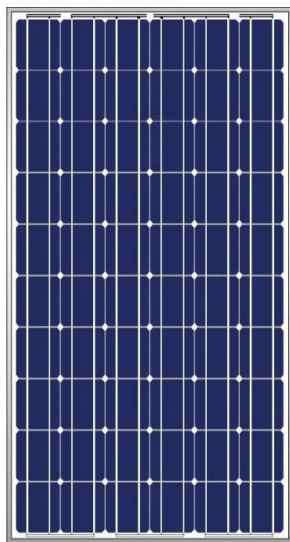


Figura 2. Panel solar policristalino (Fuente AutoSolar).

Los paneles de capa fina (ver figura 3), se elaboran de forma diferente a la de los paneles mencionados con anterioridad, estos se fabrican depositando en forma de lámina delgada sobre un sustrato como el vidrio o el plástico, los paneles de capa fina tienen un rendimiento en laboratorio cercano al 13%, mientras que su rendimiento comercial radica entre un 7 y 9%, estos paneles fueron creados debido a la necesidad de reducir costos en su producción y también dada la escasez de silicio, buscando otras alternativas para fabricar celdas en base de otros materiales.

Una de sus principales características, es que son de un costo menor a diferencia de los paneles mono y policristalinos, pero necesita de un espacio amplio tanto para su instalación como para generar la misma cantidad de energía comparada con la de los otros paneles, estos tienen la ventaja de trabajar de forma eficiente en ambientes de alta temperatura.



Figura 3. Panel solar de capa fina o amorfos (Solar-energia.net).

Cálculo del panel solar.

Para la selección de la celda solar se tienen en cuenta varios aspectos correspondientes a potencias, cada elemento que conforma el dispositivo tiene un consumo al día, el cual resulta importante para conocer la potencia que debe de tener el panel solar.

Para obtener las potencias correspondientes de los dispositivos tanto en modo standby y en modo transmisión, se multiplican las corrientes en standby y en transmisión por el voltaje de trabajo de cada componente.

Para el XBee

ECUACIÓN 1

$$3.3V * 40 \text{ mA} = 132 \text{ mW en modo transmisión}$$

$$3.3V * 1 \mu A = 3.3 \mu W \text{ en modo standby}$$

Para el sensor HC – SR04

$$5V * 15 \text{ mA} = 75 \text{ mW en modo transmisión}$$

$$5V * 2 \text{ mA} = 10 \text{ mW en modo standby}$$

DISPOSITIVO	CORRIENTE MODO STANDBY (mA)	CORRIENTE DE TRANSMISIÓN (mA)	TIEMPO DE TRANSMISION (s)	VOLTAJE DE TRABAJO (V)	SUMA DE POTENCIAS EN MODO STADBY Y TRANSMISION (W)
sensor HC - SR04	2 mA	15 mA	1 s	5 V	85 mW
XBee ZB S2C TH	1 uA	40mA	1 s	3.3 V	132 mW
Arduino UNO	46 mA	46 mA	--	5 V	230 mW

Tabla 1. Cálculo de potencias. (Fuente los autores).

Ahora se debe de tener en cuenta el tiempo durante el cual se desarrollan estas potencias. Un día cuenta con 1440 minutos, en cada minuto se va a realizar una transmisión, con respecto a una hora 1440 segundos son: 3600

ECUACIÓN 2

$$\frac{1440 \text{ seg}}{3600 \text{ seg}} = 0.4$$

De esta manera se obtiene 0.4 horas al día, el cual, el sensor tomara mediciones. Se realizó este cálculo con la intención de conocer, cuántas intervenciones va a tener el sensor con respecto a horas al día.

Es decir, que 0.4 horas al día, los dispositivos estarán consumiendo 40mA y 15 mA, entonces las restantes 23.6 horas del día consumirán 1uA y 2mA.

La energía consumida, es la potencia desarrollada por el tiempo en el que se desarrolla:

ECUACIÓN 3

$$E = P * t$$

Para el XBee

$$132 \text{ mW} * 0.4 \text{ hr} = 52.8 \text{ mWh}$$

$$3.3 \text{ }\mu\text{W} * 23.6 \text{ h} = 77.88 \text{ }\mu\text{Wh}$$

Para el sensor HC-SR04

$$75 \text{ mW} * 0.4 \text{ h} = 30 \text{ mWh}$$

$$10 \text{ mW} * 23.6 \text{ h} = 236 \text{ mWh}$$

Luego se suman las energías de cada elemento y así obtener la energía total del sistema.

ECUACIÓN 4

$$5.52 \text{ Wh} + 266 \text{ mWh} + 52.87 \text{ mWh} = 5.84 \text{ Wh}$$

Siendo 5.52Wh la energía consumida por el Arduino, 52.87 mWh la del Xbee y 266 mWh la del sensor HC-SR04

Para obtener la potencia consumida por hora del equipo se divide la energía total por 24 horas, siendo este resultado un valor que suelen pedir los fabricantes de paneles solares.

ECUACIÓN 5

$$\frac{5.84Wh}{24 h} = 243.3 mWh/h$$

Por último, para seleccionar el panel, se divide por el número de horas pico solares de la región, donde el sensor se instalará.

ECUACIÓN 6

$$\frac{5.84Wh}{3H} = 1.94W$$

Siendo 3 horas, una información respectiva a la actividad solar con respecto al centro del país.

Dado estos cálculos teóricos se tiene que la potencia del panel solar para este proyecto es de 1.94W.

Para conocer cuántos paneles solares debe de tener la instalación fotovoltaica de realiza la siguiente operación.

ECUACIÓN 7

$$N_{PANELES} = \frac{E_{TOTAL}}{HPS * P_{PANEL}}$$

$N_{PANELES} = \text{Número de paneles.}$

$E_{TOTAL} = \text{Energía total del sistema.}$

$P_{PANEL} = \text{Potencia del panel a usar}$

ECUACIÓN 8

$$N_{PANELES} = \frac{5.84Wh}{3h * 3W}$$

$$N_{PANELES} = 1$$

Para alimentar el circuito electrónico se necesita un panel solar de 6V y 3W.

Batería.

Un sistema fotovoltaico en la noche, sin la ayuda de la luz solar se convierte en una carga para el sistema, para esto, se implementan una serie de baterías las cuales cumplen con la labor de suministrar energía cuando el panel solar no sea una fuente de alimentación para el sistema.

Cálculo de batería.

Para seleccionar la capacidad de las baterías que darán suministro eléctrico al sensor ultrasónico en las noches, se calculan de la siguiente manera.

ECUACIÓN 9

$$C = \frac{E_T * D_T}{P_D * T_T}$$

Donde:

$C = \text{capacidad de la bateria (Ah)}$

$E_T = \text{Energia total por dia}$

$D_T = \text{Dias de autonomia}$

$P_D = \text{Profundidad de descarga de la bateria}$

$T_T = \text{Tension de trabajo}$

El valor de P_D es de 0.66 dado que ese valor corresponde a una batería normal.

Reemplazando valores en la formula se obtiene la siguiente expresión.

ECUACIÓN 10

$$C = \frac{5.84W * 3.5días}{0.66 * 6V}$$

$$C = 5161 mAh$$

Se obtiene que el dato teórico de la capacidad de la batería es de 5.161 mAh. La batería seleccionada para el sistema de medición de nivel es una batería de 6000Ma.

Los valores y ecuaciones fueron tomados de [29], al no ser expertos en el tema de energía solar.

Para comprender el funcionamiento de algún dispositivo o circuito electrónico, debemos entender primero cómo funcionan sus componentes, los cuales se encargan de procesar la electricidad y las señales en los circuitos [30]. A continuación, estudiaremos de forma detallada los principales componentes electrónicos que conformaran el sensor de nivel ultrasónico.

ECUACIÓN 11

$$(cap. \text{bateria}) = \left(\left(101mA * \frac{T_o}{T_s + T_o} \right) + \left(48mA * \frac{T_s}{T_s + T_o} \right) \right) * \text{Tiempo funcionamiento}$$

ECUACIÓN 12

$$\lim_{T_s \rightarrow 0} \left(\left(\left(19mA * \frac{T_o}{T_s + T_o} \right) + \left(9mA * \frac{T_s}{T_s + T_o} \right) \right) * \text{Tiempo funcionamiento} \right)$$

ECUACIÓN 13

$$\lim_{T_o \rightarrow 0} \left(\left(\left(19mA * \frac{T_o}{T_s + T_o} \right) + \left(9mA * \frac{T_s}{T_s + T_o} \right) \right) * \text{Tiempo funcionamiento} \right)$$

Asumiendo los dos limites que corresponden al máximo consumo del circuito, esto es sin entrar en modo sleep durante toda la operación (ecuación 12), y al mínimo consumo del circuito que corresponde a quedarse en modo sleep durante todo el funcionamiento (ecuación 13), se obtiene como resultado que el consumo se encuentra comprendido entre 57 6mA y 1212 mAh, dependiendo del tiempo que trabaje en modo operación y en modo sleep.

CAPÍTULO 3.

Dispositivos y diseño electrónicos

Arduino UNO

Es una placa de microcontrolador de código abierto basado en el microchip ATmega328P y desarrollado por Arduino (ver figura 4). El Arduino está equipado con conjuntos de pines digitales y analógicos que pueden conectarse a varias placas de expansión y otros circuitos. La placa cuenta con 14 pines digitales, 6 pines analógicos y programables con el Arduino IDE, su alimentación puede proveerse a través de un cable USB o una batería externa de 9V, aunque según la hoja del diseñador esta placa soporta voltajes entre 7 y 20V.

El Arduino Uno es una placa de microcontrolador de código abierto que es usado con bastante frecuencia por las personas que incursionan por primera vez en el mundo de la programación, esto se debe a la gran cantidad de información con la cual se cuenta acerca del funcionamiento de este mismo, también se añade el bajo precio que tiene en el mercado. Es una placa que cuenta con una gran cantidad de pines digitales o analógicos y esto hace que sea más fácil y cómodo trabajar.

Con lo mencionado anteriormente se decide la selección de la placa de desarrollo Arduino Uno con el cual se avanzará en el proyecto, cuenta con las entradas necesarias para conectar el XBee, el sensor ultrasónico y el panel solar, su tamaño también lo beneficia ya que cuenta con unas dimensiones de 6.58 cm x 5.33 cm lo cual a la hora de realizar la carcasa para el circuito terminado también favorecerá, con lo cual también cabe mencionar que por su tamaño es fácil de ubicar en múltiples sitios.

Sus características principales son la de su procesador ATmega328P, su memoria flash de 32kB y su voltaje de trabajo u operación de 5V.

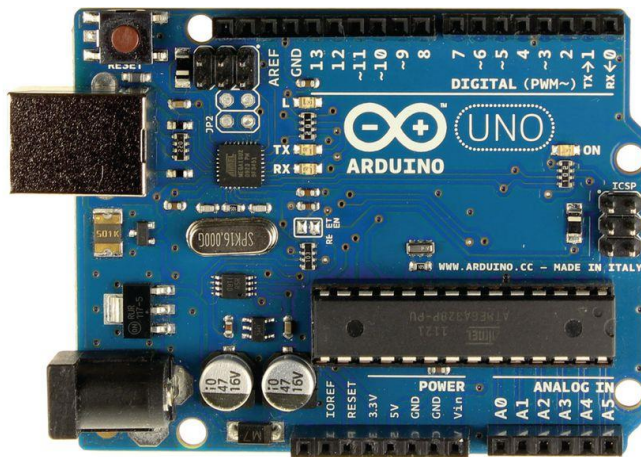


Figura 4. Arduino UNO (Fuente los autores).

Sensor ultrasónico HC-SR04

El sensor ultrasónico HC-SR04 es un dispositivo capaz de detectar objetos y a su vez calcular a que distancia se encuentran, cuenta con un rango de medición de 2 a 450 cm. Como su nombre lo indica funciona mediante ondas ultrasónicas y contiene la electrónica encargada de realizar la medición. Su uso es enviar un pulso de arranque y medir la anchura del pulso de retorno.

Este sensor es muy comercial debido a su bajo precio y fácil uso, dado que la compañía Arduino posee en su base de datos, tutoriales que facilitan la implementación de este sensor. Es un dispositivo que se usa de manera cotidiana para el desarrollo de proyectos, además, se puede encontrar con facilidad información en diferentes fuentes como, internet, libros, artículos y guías.

Sus características principales son, su voltaje de trabajo de 5V con una corriente de trabajo de 15mA, el sensor trabaja a una frecuencia de 40Hz y por último su capacidad de tomar mediciones entre los rangos de 2cm y 4.5 metros, siendo un dispositivo pequeño pero que abarca rango de cobertura amplio [31].

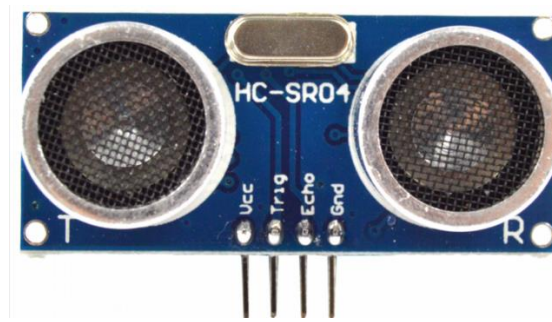


Figura 5. Sensor ultrasónico HC-SR04 (Fuente Datasheet4U).

Como se puede apreciar en la figura 5, el sensor ultrasónico HC – SR04 consta de 4 pines donde el pin uno y el pin cuatro son los encargados de alimentar energéticamente al sensor, donde el pin uno es Vcc, siendo la parte positiva del sensor y el pin cuatro lleva de nombre GND correspondiente a tierra, lo cual hace de este pin la parte negativa del sensor. Los pines de la mitad son los encargados de recibir información o darle las noticias al microcontrolador sobre lo que el sensor capte. El pin dos Trigger, es el pin por el cual el microcontrolador le da la orden al sensor de enviar los pulsos, y estos pulsos son los encargados de determinar a la distancia a la cual se encuentran el objeto a medir, y finalmente el pin número tres Echo, cumple con la tarea de enviarle al microcontrolador los datos captados por el sensor y de convertir esos pulsos en información que el sensor pueda transmitir al usuario, calculando el ancho pulso, el cual es proporcional al tiempo de ida y vuelta que tarda en llegar la onda.

En este caso el sensor ultrasónico HC-SR04 va conectado al Arduino Uno de la siguiente manera, como se puede observar en la figura 6.

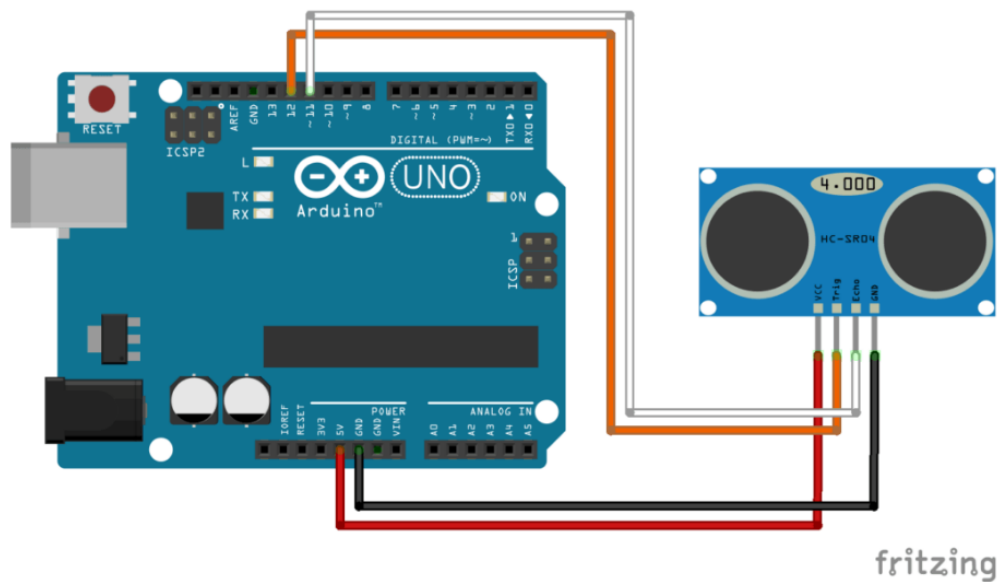


Figura 6. Diagrama de conexión sensor HC-SR04 con el Arduino UNO (Fuente Fritzing).

Como se puede apreciar en la figura 6. El sensor HC –SR04 va alimentado con el Arduino con los pines uno y cuatro mencionados con anterioridad, en cambio los pines dos y tres van hacia los pines del once y doce del Arduino Uno, obstante, no es obligación conectarlos de esa manera, dado que se pueden conectar a otros pines del puerto digital del microcontrolador [32].

XBee ZB S2C TH

El módulo Xbee ZB S2C TH (véase figura 7), es un dispositivo electrónico, el cual permite la comunicación inalámbrica de dos o más circuitos electrónicos entre sí, tiene un rango de comunicación en ambientes cerrados de 60 metros, mientras que en espacios abiertos llega a tener un rango de hasta 1200 metros, trabajando a una frecuencia de 2.4GHz, siendo esta una velocidad de transmisión de datos rápida, por ende, se hace efectiva la comunicación entre microcontroladores.

Cabe mencionar que el módulo XBee es compatible con comunicación Zigbee, otorgando un amplio rango de conexiones entre otros dispositivos electrónicos, también por su bajo costo comparado con otros dispositivos resulta factible incluirlo en proyectos que tengan un alcance relativamente corto.

Algunas características del dispositivo XBee, es su velocidad máxima de envío de datos de un valor de 250.000b/s, sus características para su funcionamiento es su voltaje de fuente que varía entre los 2.1V a 3.6V, una potencia de recepción de 33mA a 45mA y su corriente de transmisión que adquiere valores de 28mA a 31mA.

En los sistemas piscícolas el sensor se ubicará en los tanques reservorios de agua y su receptor estará conectado a un computador por medio de una entrada USB, el cual se encargará del almacenamiento de información captado por el sensor, cada medición que tome el sensor en el tanque reservorio se verá reflejado en la pantalla del computador, dándole información al usuario del estado actual del sistema, se da el uso de esta herramienta por su facilidad y sencillez al momento de implementarse en un computador, dado que su emisor puede estar en el campo de trabajo, mientras que el receptor puede ir conectado a una computadora.

Teniendo en cuenta el rango de medición máxima de 1200 metros que el módulo XBee ZB S2C TH brinda se realizó su selección, dado que, es una distancia que permite un rango amplio de cobertura dentro de los sistemas piscícolas. Además, se tiene en cuenta su costo-beneficio en este proyecto.

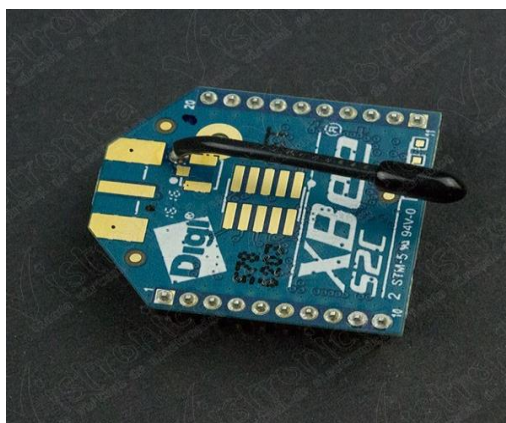


Figura 7. Módulo Xbee S2C TH (Fuente Ardobot).

El módulo XBee capta la información proveniente del microcontrolador por el puerto serial UART, dado a esto él puede enviar la información que el microcontrolador con la ayuda del sensor ultrasónico ha tomado, esto antes de confirmar la información por el puerto UART, este tiene métodos de validación de datos uno de ellos es el bit de paridad y la temporización de datos, siendo estos parámetros claves para la comunicación y transmisión de datos.

Por ende, el Arduino UNO y el módulo XBee se conectan de la siguiente manera, (ver figura 8), donde se manifiesta que el módulo XBee va conectado al puerto serial de la tarjeta electrónica Arduino UNO.

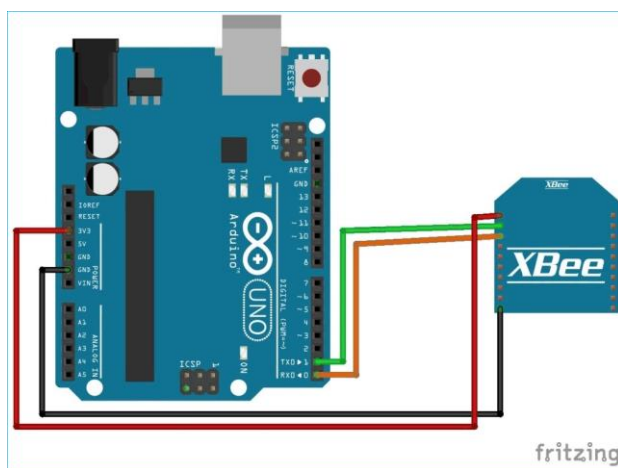


Figura 8. Diagrama de conexión XBee con Arduino UNO (Fuente Fritzing).

Módulo cargador baterías litio TP4056 micro USB 5V – 1A.

El módulo cargador baterías Litio TP4056 micro USB 5V – 1A, (ver figura 9) es perfecto para la carga de baterías de una celda de 3.7V como baterías 18650 que no tienen su propio circuito de protección.

Es basado en el chip TP4056 y el chip de protección de batería DW01, este módulo ofrece una corriente de carga de 1A y después de haber terminado de cargar la batería este la cortara. Además, cuando el voltaje de la batería cae por debajo de 2.4V el chip de protección desconectara la carga para proteger la celda y también protege a la celda contra la conexión de sobretensión y polaridad inversa.



Figura 9. Módulo carga y descarga TP4056 (Fuente arcaelectronica.com).

Las características que ofrece el módulo TP4056 son: una carga lineal, corriente de 1A ajustable, precisión de carga 1.5%, voltaje de entrada 4.5V – 5.5V, voltaje de carga full 4.2V, leds indicadores rojo (cargando) y el verde (cargado completamente), micro USB, temperatura de trabajo de -10°C a una temperatura de 85 °C, sus dimensiones 25mm x 19mm x 10mm.

Pila 18650.

Para el diseño del sensor ultrasónico, se tiene un banco de baterías conformado por 2 celdas, la pila 18650 (ver figura 10) es una batería recargable Lion-ion, que se parece mucho a la pila tipo AA, pero esta tiene

como salida un voltaje 3.7V y una capacidad de 1600 a 3600mAh, si se compara con una pila AA o AAA convencional tiene un voltaje 1.5V / 1.2V.



Figura 10. Pila 18650 (fuente ferretronica.com)

Las dimensiones de esta pila están cifradas en su nombre, 18650, siendo los dos primeros números (18) indican su diámetro en 18mm, mientras que el número (650) nos da la información de su longitud 65mm.

Además no se recomienda descargar por completo para almacenarla, esto puede acortar la vida útil de la pila, además estas baterías son muy sensibles y con frecuencia se dañan en el caso de sobrecarga o recalentamiento, para prevenir estas situaciones, los acumuladores están equipados con un circuito electrónico el cual protege a las baterías de una sobrecarga o recalentamiento durante el proceso de carga y descarga, si no llegase a tener el circuito de protección estas pilas pueden recalentarse y explotar.

Convertidor DC-DC Boost USB 5V – 600mA elevador de voltaje.

El convertidor DC-DC Boost USB 5V – 600mA, (ver figura 11) es un elevador de voltaje que proporciona un nivel de potencia máximo de 3W (600mA) a la salida, funciona a altas frecuencias (400KHz) y se caracteriza por presentar una eficiencia por encima del 96%.

Este módulo Step Up es usado para aplicaciones en las que se necesita un nivel de tensión constante a la salida ante cualquier tipo de variaciones de voltaje a la entrada del módulo.



Figura 11. Elevador Boost USB DC-DC (Fuente es.bangood.com)

Las principales características del Boost Converter son: su voltaje de entrada DC 0.9V – 5V, voltaje de salida constante 5VDC, corriente de salida máxima de 600mA potencia de salida máxima de 3W, frecuencia de operación de 400KHz, eficiencia del 96%, temperatura de trabajo de -5°C a 60°C y por último sus mediciones son de 34mm x 16 mm x 7mm.

Software Eagle

Sus siglas de Easily Applicable Graphical Layout Editor) es un software de diseño de diagramas y PCBs con auto enrutador bastante utilizado en el campo de los proyectos electrónicos, muchas versiones de este programa tienen una licencia Freeware y cuenta con una gran cantidad de bibliotecas de componentes que pueden ser encontrados con facilidad en la red.

Eagle ha sido usado de manera satisfactoria por ingenieros de diseños, ofreciendo la misma funcionalidad básica y calidad que otros softwares comerciales mucho más costosos. Además, es un programa el cual es fácil de aprender a usar, muchas instituciones educativas emplean este software por su gran facilidad al ser utilizado, es sencillo para los docentes explicarlo por su uso básico.

Este programa facilitará realizar la PCB que se utilizará para el montaje de los dispositivos electrónicos como, Arduino, Xbee, panel solar, entre otros. Además, Eagle tiene librerías de los componentes mencionados con anterioridad, haciendo de este programa una opción viable para realizar el diseño de la PCBs del sensor ultrasónico para tanques reservorios de agua enfocado en la piscicultura.

Para la elaboración del circuito electrónico en el software EAGLE se inició con un esquemático del circuito, como se observa en la figura 12, la tarjeta electrónica llevará consigo todos los componentes los cuales son, el Arduino UNO, el XBee, el sensor ultrasónico, el TP4056 y el elevador Boost USB. Se comenzó con la conexión del VCC del sensor ultrasónico al pin 5V del Arduino UNO, los pines ECHO y TRIG se conectaron al puerto digital del Arduino UNO en los pines ocho (8) y (9) respectivamente; para la conexión del módulo XBee al Arduino, se inició por conectar RX y TX al puerto digital del Arduino, siendo los pines (0) y (1) en su orden, y por último se conectaron las tierras (GND) de cada dispositivo entre sí. Para la parte de alimentación del Arduino UNO se instalaron dos pines los cuales hacen referencia al panel solar, por consiguiente, se tiene el cargador de baterías TP4056 y conectado a él tenemos los pines para conectar la batería y el Boost USB.

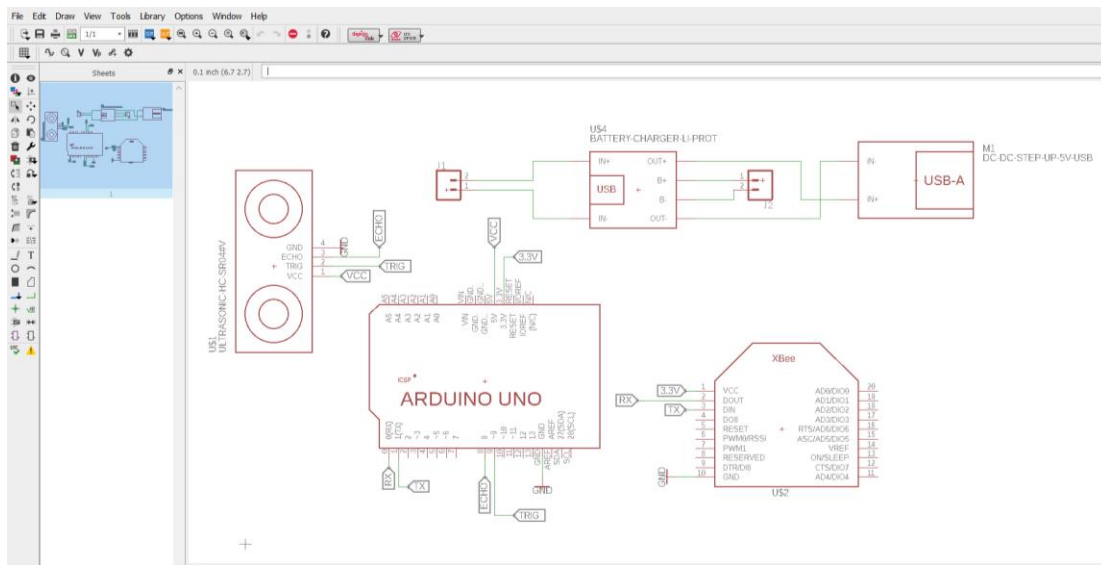


Figura 12. Sistemático del circuito (Fuente los autores).

Después de haber realizado el sistemático se creó la board en el software EAGLE como se puede observar en la figura 13. La imagen presenta como quedarán las pistas del circuito, también se puede apreciar que el diseño se realiza en una baquela doble cara, lo cual se debe de tener muy en cuenta a la hora de imprimir el circuito. En el plano de la board se estableció una tierra en común (GND) para todos los dispositivos excepto los dispositivos de alimentación del circuito como el cargador de batería y el elevador.

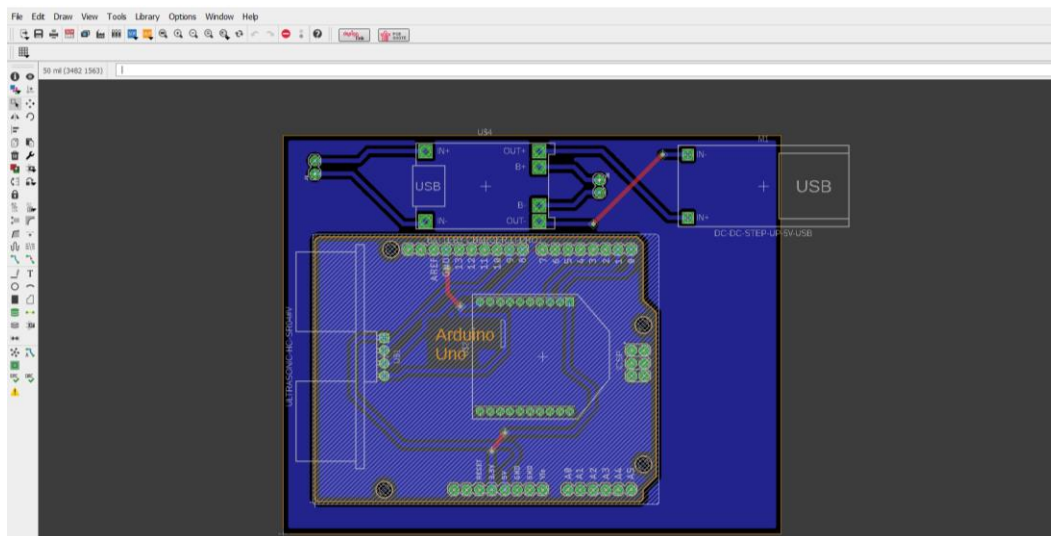


Figura 13. Board del sensor ultrasónico (Fuente los autores).

Con las dimensiones establecidas, se procede a realizar una caja protectora, la cual se divide en dos partes, la primera parte donde se ubica la tarjeta electrónica que contara con unos apoyos para que la tarjeta quede estable y no se mueva con facilidad, y la segunda parte será la tapa de la carcasa para que así pueda proteger toda la tarjeta electrónica de ambientes exteriores.

Diagrama de conexiones

En la figura 14 se tiene un mapa de conexión de los elementos que conforman el dispositivo, dando a entender la línea roja como el positivo y el negro como negativo o tierra, el color azul hace referencia a la conexión entre el elevador y la tarjeta electrónica Arduino, las líneas café y violeta encargados de enlazar el Arduino y el sensor ultrasónico HC-SR04 hace referencia a la conexión de TRIG y ECHO, ambos salen del puerto digital del Arduino UNO y por ultimo las líneas amarilla y verde son RX y TX respectivamente para el XBee y el Arduino UNO.

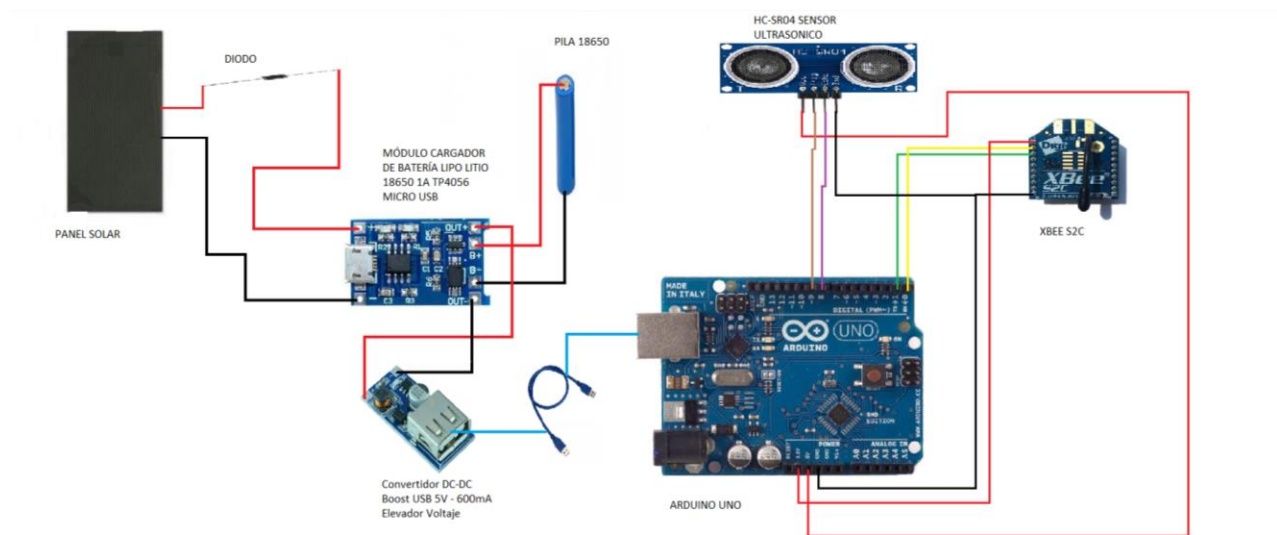


Figura 14. Mapa de conexiones (Fuente los autores).

En la figura 14, podemos observar el panel solar el cual es el encargado de suministrar energía eléctrica al circuito, el siguiente elemento que observamos es un diodo rectificador, este tiene como labor darle

una dirección a la corriente eléctrica, dado que el panel solar cuando se encuentra en modo reposo (en la noche), este elemento se convierte en una carga para el sistema y con la ayuda del diodo esta propiedad del panel solar no afectaría el rendimiento del sistema de medición de nivel, el tercer componente es el Módulo TP4056 el cual tiene la función de cargar y descargar las baterías, la cual durante la mañana estas se cargaran y en las noches cumplen con la labor de alimentar el sistema de medición, , el siguiente elemento es la batería, la cual está conformada por una pila 18650, de ahí a la salida del TP4056 se conecta el elevador Boost USB, el cual mantiene un voltaje constante de 5V para alimentar al Arduino UNO, todos los componentes mencionas anteriormente cumplen con la función de generar la energía, de esta manera, el sensor ultrasónico trabaje de manera autónoma sostenible. El Arduino UNO es el cerebro de todo el sensor, el recibe toda la información de los dispositivos XBee S2C y HC-SR04 y hace que estos dispositivos trabajen de manera eficiente, el sensor HC-SR04 es el sensor ultrasónico, encargado de medir el nivel del tanque reservorio y toda esta información enviársela al Arduino UNO, y por último el XBee S2C es el elemento con la tarea de enviar toda esta información a un computador, para que el usuario se percate del funcionamiento adecuado de todo el sistema de medición de nivel.

CAPÍTULO 4.

Carcasa y soporte para componentes

El sensor ultrasónico estará ubicado en el tanque reservorio como se ha mencionado en varias ocasiones, dada esta circunstancia el dispositivo se instalará en condiciones abiertas, para esto se recomienda el material tereftalato de polietileno, (PET por sus siglas en ingles), siendo uno de los materiales reciclados más usados en todo el mundo presentando una alternativa para mitigar la contaminación en el planeta, sus características principales son, resistentes para uso en exteriores, irrompible, económico y liviano.

El diseño en 3D se realizó en el software Inventor Professional 2019, el cual brinda alternativas en las cuales se destacan el detallado de piezas, planos, simulaciones de esfuerzos, entre otras. Además, el material PET, cuenta con la alternativa de ser elaborado por medio de una impresora 3D, donde se pueden

imprimir todas las piezas que conforman la carcasa del sensor ultrasónico, a su vez su mano de obra no es tan costoso siendo una alternativa para cualquier diseñador. Cabe decir que cada componente al interior de la carcasa tendrá su lugar y se fijara por medio de barras.

Para la elaboración de la carcasa en el software Inventor, primero se debe tener claro cómo estará construida la tarjeta electrónica ya que con el tamaño de esta se iniciará la construcción de la carcasa. Con esto claro es evidente la necesidad de realizar la tarjeta en Eagle, por ende, se pueden tomar las medidas que este ocupara, además, se verificaron estas medidas con el datasheet de cada dispositivo, para así tener certeza sobre las dimensiones. Como se puede apreciar en la figura 15, las medidas de la carcasa fueron extraídas en base a las medidas tomadas del software Eagle.

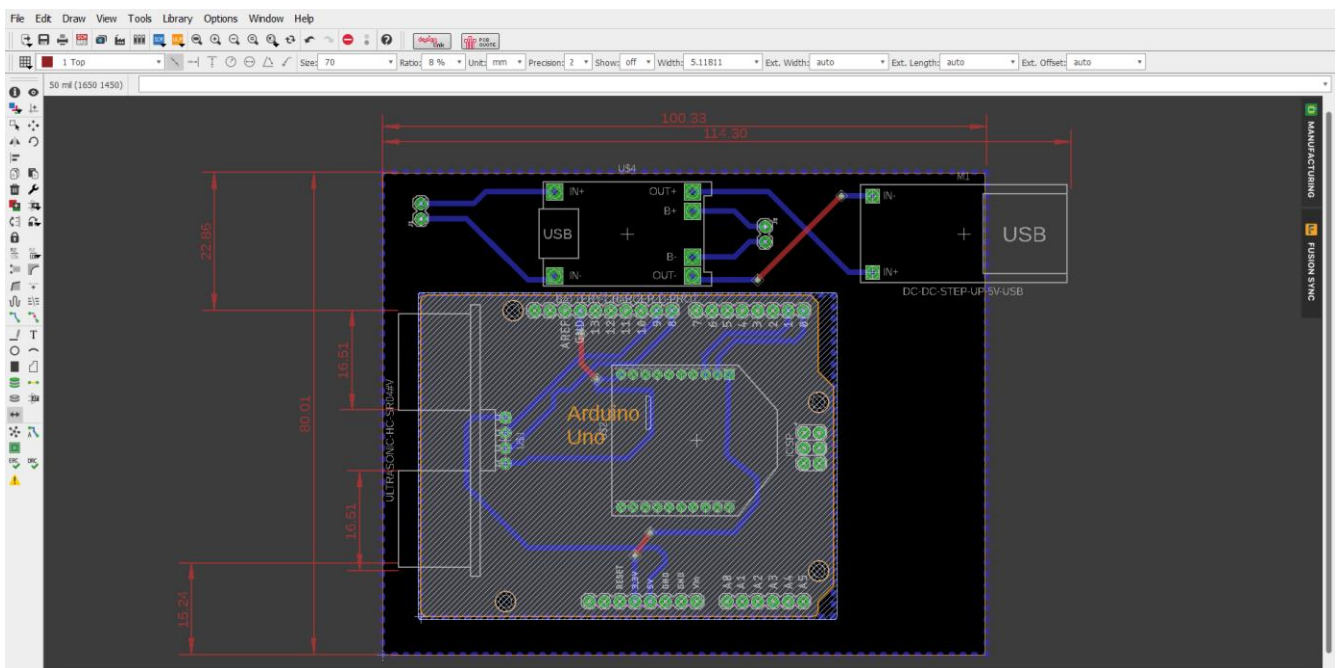


Figura 15. Dimensiones de la tarjeta electrónica (Fuente los autores).

Como se mencionó anteriormente para la construcción de la carcasa fueron necesarias las dimensiones de la tarjeta electrónica, además, se necesita las medidas de los demás dispositivos utilizados para la construcción del dispositivo.

En este caso se investigó las dimensiones del módulo de carga TP4056, de las baterías 18650, del elevador Boost USB, el sensor ultrasónico HC-SR04, cuyas medidas fueron adquiridas a través del correspondiente datasheet. A continuación, se mostrarán las medidas de cada uno de los elementos anteriormente mencionados:

- Módulo de carga TP4056: 28x17mm
- Baterías 18650: 18x65 mm
- Convertidor DC-DC: 36x17x7 mm
- Ultrasónico HC-SR04: 43x20x20 mm

En la figura 16 se mostrará una parte de la caja protectora, esta contara con dos partes similares, en esta es en la cual se ensambla la tarjeta electrónica realizada en el software Eagle, más claramente será el Arduino UNO y el Xbee.

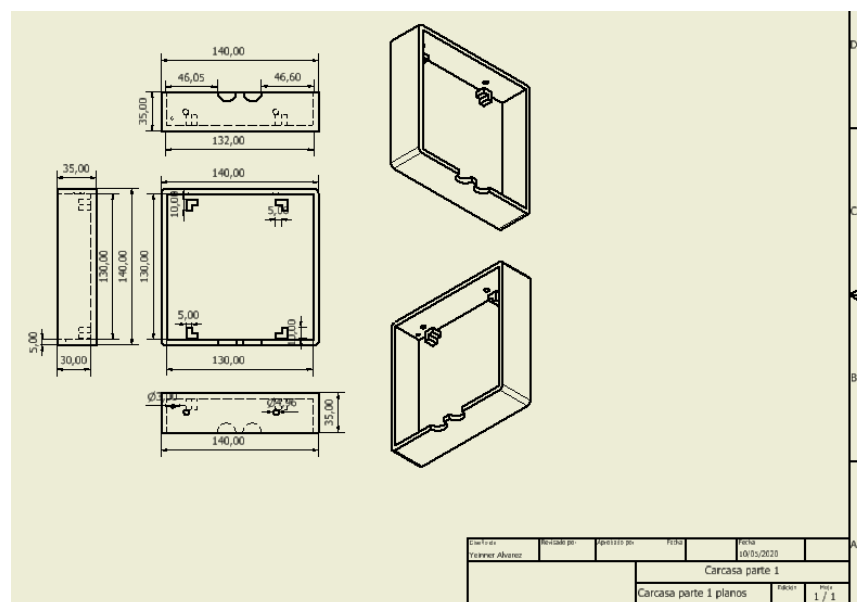


Figura 16. Planos carcasa parte 1 (Fuente los autores).

En la figura 17, se puede observar la parte dos de la caja protectora, en esta se ensambla los demás componentes, en este caso solo va ubicado la batería 18650 para esto se realizaron soportes para ubicar dos baterías en caso de necesitarlas. Cabe aclarar que las dos partes de la caja cuentan con orificios en la parte superior para el cableado del panel solar y donde van los tornillos para el ensamble del soporte del panel solar con la carcasa.

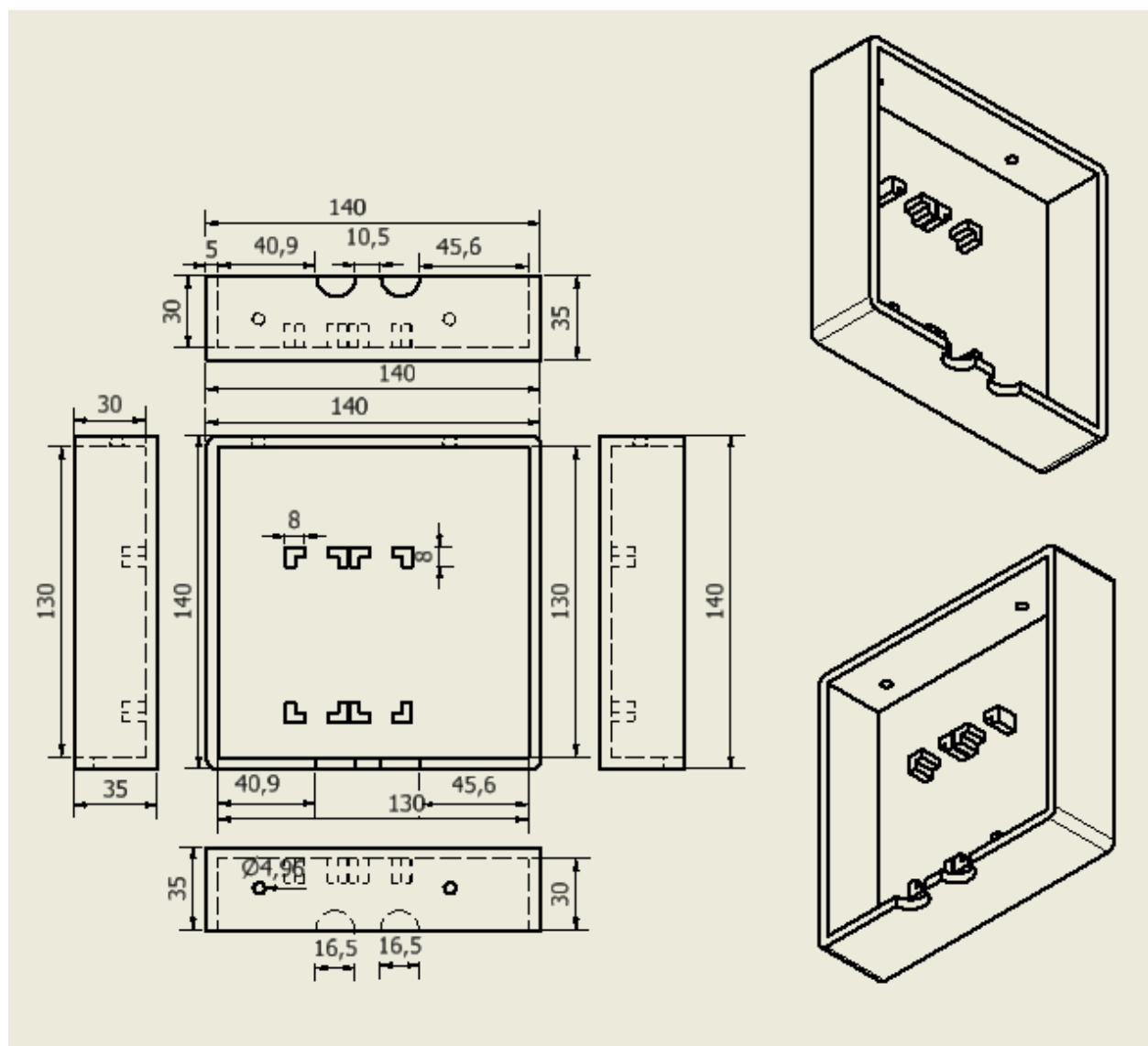


Figura 17. Planos carcasa parte 2 (Fuente los autores).

Para el panel solar se realiza un soporte, esto se debe primero al tamaño del panel y segundo para hacer la instalación más estable, este soporte cuenta con dos orificios en la parte inferior para que pueda ser ensamblado a la parte superior de la caja, cuenta con 4 soportes para que así sea más firme su instalación, en la figura 18 se muestra el diseño de este:

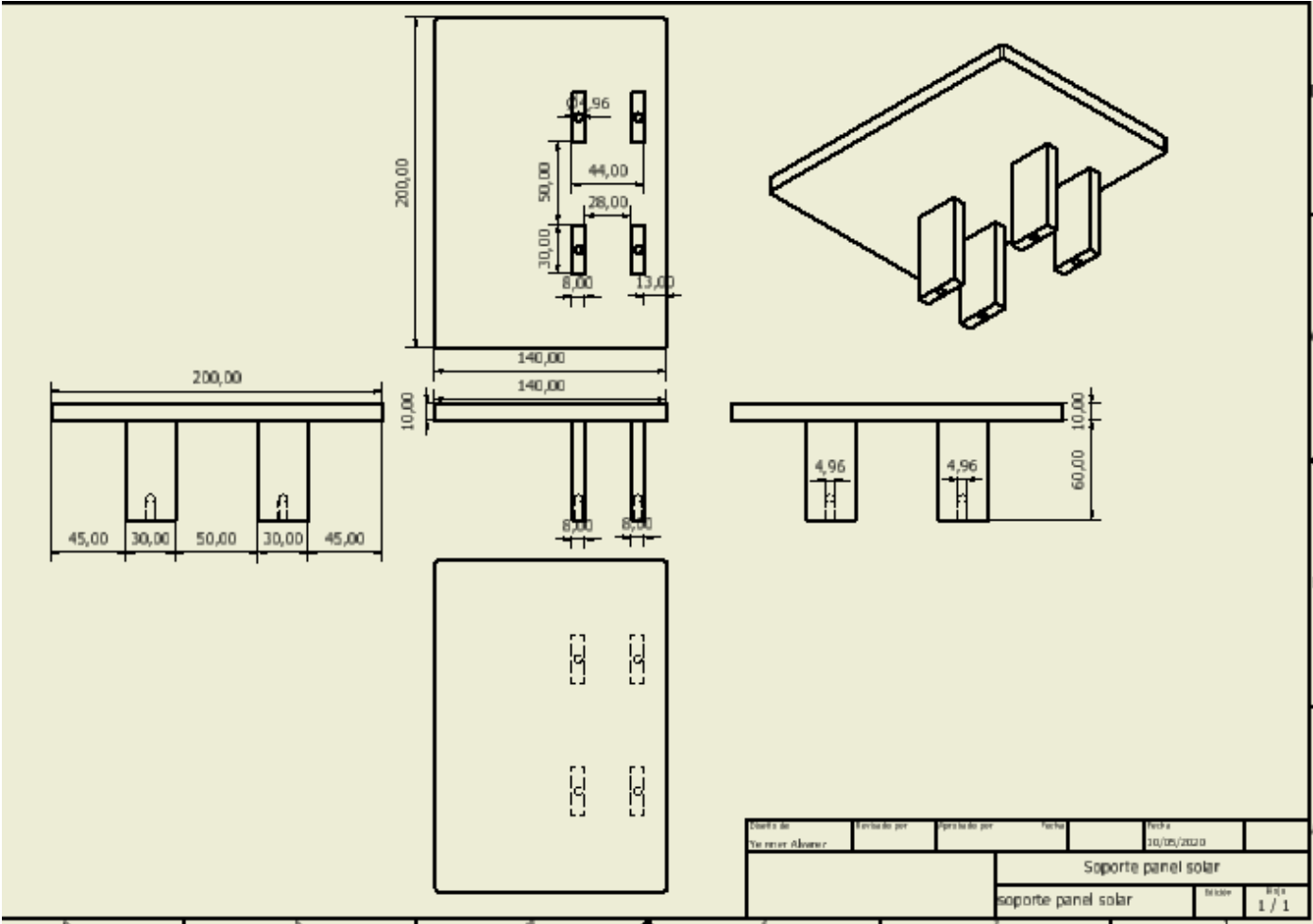


Figura 18. Soporte panel solar (Fuente los autores).

Con las dimensiones establecidas, se procede a realizar una caja protectora, la cual se divide en dos partes, la primera parte donde se ubica la tarjeta electrónica que contara con unos apoyos para que la tarjeta quede estable y no se mueva con facilidad, y la segunda parte será la tapa donde van ubicados los

demás dispositivos de la carcasa para que así pueda proteger toda la tarjeta electrónica de ambientes exteriores.

En la figura 19 se aprecia el diseño de la carcasa terminada y ensamblada.

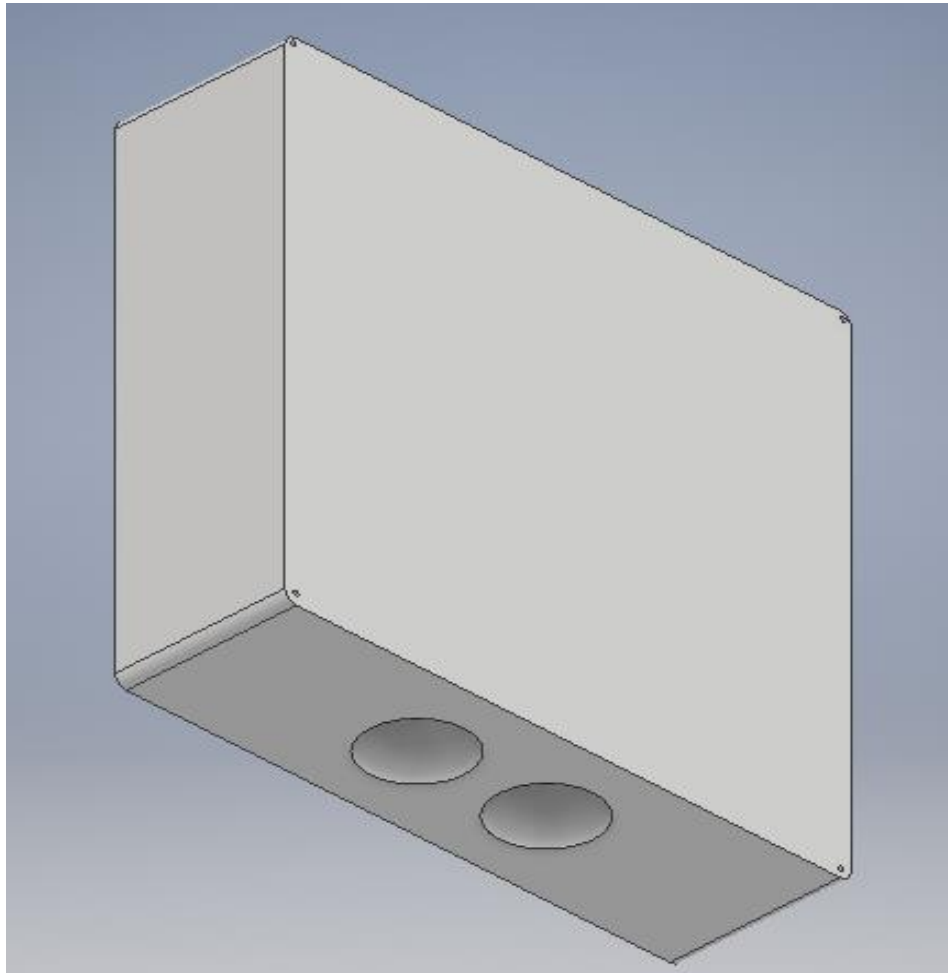


Figura 19. Diseño de carcasa terminada (Fuente los autores).

En la figura 20, se muestra la carcasa y el soporte del panel solar y como están ubicados para su respectivo ensamble.

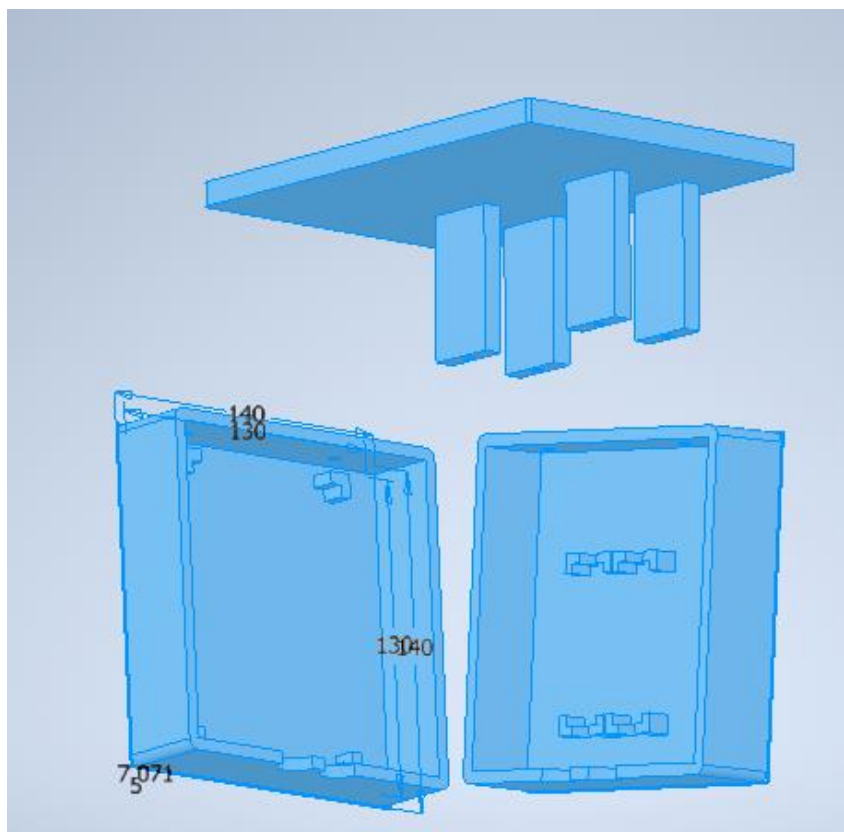


Figura 20. Carcasa y panel solar (Fuente los autores).

CAPÍTULO 5.

Interfaz básica entre dispositivo de medición y usuario

Un diagrama de flujo es una herramienta usada con el propósito de ayudar a designar tareas o establecer un proceso por el medio de algoritmos definidos para realizar una labor previamente estipulada.

Los diagramas de flujo están conformados por figuras geométricas, las cuales representan una acción del proceso que se esté llevando a cabo, estos símbolos son unidos por medio de líneas o flechas las cuales cumplen con la labor de establecer un orden y guiar al lector sobre las acciones que se están desempeñando en el proceso. También en su estructura se conforma por una serie de condiciones, los cuales dan parámetros de funcionamiento para que las actividades tengan un orden, un ejemplo para el

sensor ultrasónico es el de los condicionales SI y el NO, estos se pueden interpretar de dicha manera, SI el valor de una variable de entrada del sensor ultrasónico es 5, este valor interpretándose como un valor mínimo de agua, la acción puede activar una bomba de agua, la cual realice un llenado de agua en los tanques de piscicultura; mientras si la variable es 9 siendo este valor el rango máximo de medición del sensor ultrasónico, la bomba no se activará dado que los tanques se encuentran en su capacidad máxima de agua.

A continuación, se presenta la simbología de un diagrama de flujo. (ver figura 21)






Símbolo	Nombre	Función
	Inicio / Final	Indica el inicio y el final de un proceso.
	Línea de flujo	Indica el orden de la ejecución de las operaciones
	Entrada / Salida	Representación de la lectura de datos en la entrada y la impresión de datos de la salida.
	Proceso	Representa cualquier tipo de operación.
	Decisión	Nos permite analizar una situación, dado a los valores estipulados.

Figura 21. Simbología de un diagrama de flujo (Fuente los autores).

Diagrama de flujo.

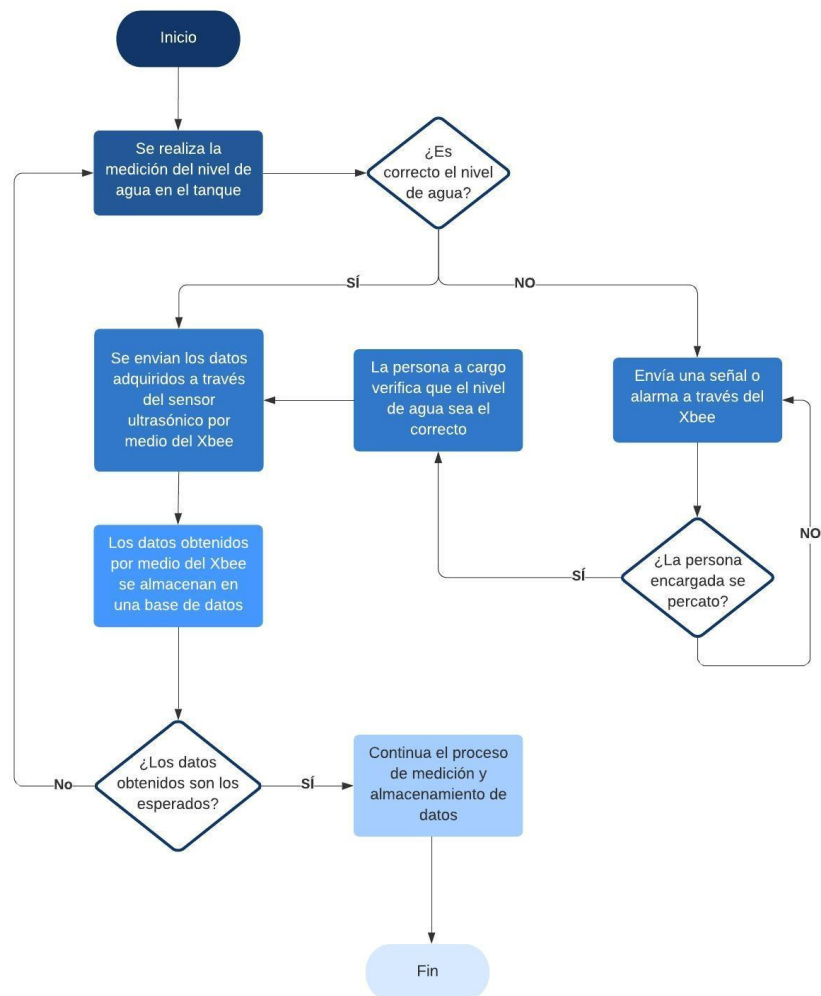


Figura 22. Diagrama de flujo (Fuente los autores).

En la figura 22 se puede observar de manera práctica el funcionamiento que tendrá el sensor ultrasónico de nivel, mostrando que el sensor deberá contar con una persona a cargo que pueda brindar apoyo al sistema y que además verifique que los niveles de agua en el tanque sean los indicados para que el proceso de crianza de los peces sea el adecuado.

El sensor analizara dos opciones, si el agua en el tanque reservorio se encuentra en un valor por encima de su valor estándar, este enviara esa información por medio del XBee y se almacenará en la base de

datos, si por el contrario el valor que capte el sensor se encuentra por debajo, dará al encendido a una alarma que avisará al usuario de la falla del sistema, de igual forma esta información se enviará y guardará en la base de datos.

Interfaz básica.

El dispositivo Xbee Explorer Dongle, (ver figura 23) es utilizado para transmitir datos tomados por el emisor a una computadora, cuenta con la ventaja de ir conectado al puerto USB de cualquier dispositivo, sin el uso de cables, así mismo se simplifica su conexión, además el XBee Explorer se puede usar con todos los módulos XBee incluyendo la serie 1 a la 2.5 en sus versiones estándar o Pro. Resulta muy necesario la implementación del dispositivo en un proyecto, debido a su característica de descargar la información y pasarla a una computadora para su almacenamiento, el XBee Explorer Dongle se conecta por medio de la entrada USB y su configuración es realizada por medio del puerto COM.

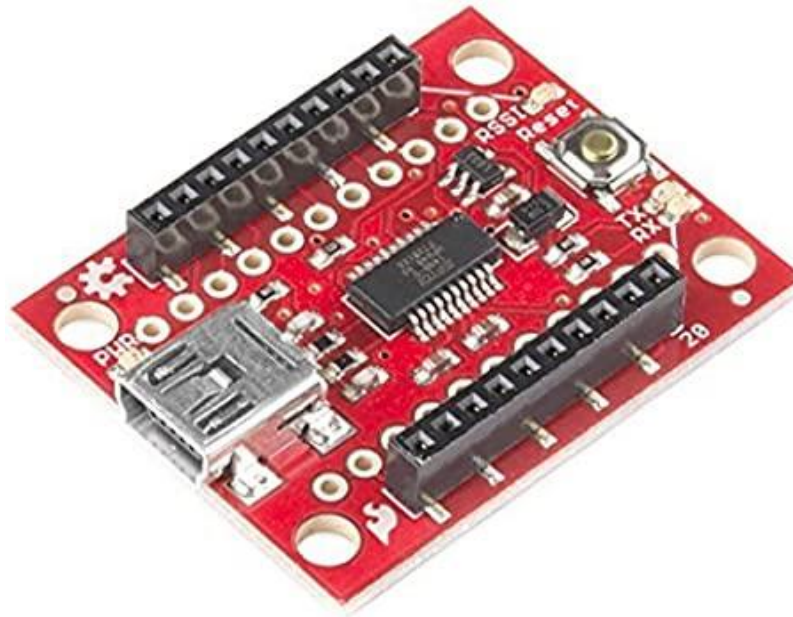


Figura 23. Xbee explorer USB. (Fuente Amazon.com)

La interfaz básica se realizó en el software NI LabVIEW, el cual cuenta con las características adecuadas para el control y toma de datos, los datos captados por el sensor HC-SR04 son enviados a la tarjeta electrónica Arduino UNO y este por medio del XBee envía toda la información al PC, este la capta por

XBee Explorer que está conectado al puerto USB y esta información se ilustra por medio del panel frontal del software LabVIEW, debido a que el software permite la programación por medios de bloques facilita encontrar errores que se estén cometiendo en el programa, LabVIEW consta de dos ventanas una es el panel frontal y la ventana diagrama de bloques, partiendo de esas dos ventanas se puede construir un proyecto, dado que en el diagrama de bloques se realiza la programación por medio del lenguaje G y en el panel frontal se puede observar el comportamiento del sistema simulado.

En la figura 24 se puede apreciar el diagrama de bloques de la interfaz básica del Arduino con el sensor ultrasónico, todo se construyó partiendo de las librerías de LINX para LabVIEW, y se cuenta con un delay de 100 ms para así no obtener cambios abruptos en la medición.

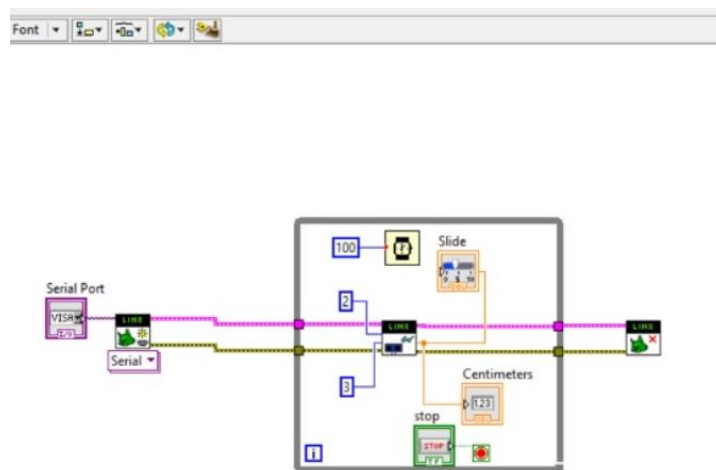


Figura 24. Diagrama de bloques (Fuente los autores).

En la figura 25 se presenta el panel frontal de la interfaz básica, la cual se puede apreciar una barra de medición, la cual es la encargada de mostrar los valores captados por el sensor ultrasónico, la medición que se toma por el sensor HC-SR04 se encuentra en centímetros.

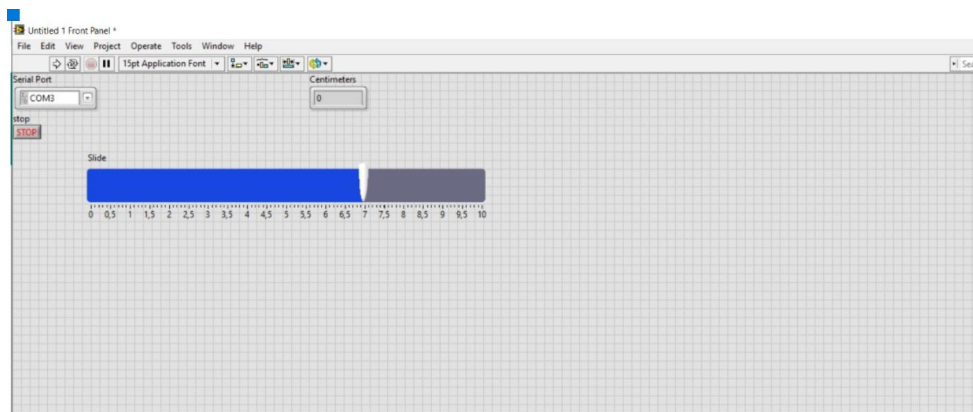


Figura 25. Panel frontal (Fuente los autores).

Resultados

Luego de haber terminado el diseño de la tarjeta electrónico por el software Eagle se obtuvo una tarjeta electrónica doble cara, la cual cuenta con tres dispositivos electrónicos los cuales son el Arduino UNO, el sensor ultrasónico HC-SR04 y el XBee S2C, los otros dispositivos los cuales son los encargados de la alimentación y regulación son los módulos TP4056 y Boost USB, el siguiente paso del proyecto fue la realización del diseño de la carcasa protectora de los dispositivos electrónicos, esta cuenta con orificios para la antena del XBee, del sensor ultrasónico HC-SR04 y entrada del cable del panel solar, también con soportes para dejar fijos estos elementos que conforman el sistema de medición, y por último, se puede apreciar una interfaz básica entre sensor ultrasónico y el usuario.

Esta interfaz tiene como función mostrar en pantalla de un computador una barra de medición, la cual hace referencia a las mediciones que está tomando el sensor ultrasónico, cada minuto, este valor se actualizara automáticamente, así previniendo inconvenientes con su funcionamiento, de esta información el usuario se puede basar el usuario para ver qué capacidad tiene el tanque reservorio y si es la adecuada para ser suministrada en caso de ser requerida en los tanques de crianza de peces, de esta manera también se obtiene como resultado una automatización de un sistema requerido por los piscícolas, dado que

mientras este dispositivo funciona ellos pueden estar realizando labores diferentes a la de estar pendientes del llenado del tanque reservorio.

Conclusiones

Debido a que los sistemas piscícolas deben de estar con supervisión constante a sus variables el uso de tecnología sustentable y sostenible encaja a la perfección en este campo, además es una gran ayuda que se les puede dar a los piscicultores, dado que ellos pueden tener información de una fuente confiable y seguir desempeñando sus labores con normalidad.

Un visualizador del funcionamiento del dispositivo es de gran ayuda para los piscicultores, aunque no reemplaza por completo la intervención del ser humano en el proceso, debido a que ellos tienen como primera opción ver la medición de los sensores en este caso la variable nivel en una pantalla, la cual les permitirá tener conocimiento de cómo está funcionando la planta y si esa medición tiene un valor preocupante ir y revisar que está ocurriendo en el tanque.

Se diseñó un sistema electrónico que cumple con los requerimientos mínimos indicados en este trabajo, sin embargo, su implementación dará cuenta de los ajustes necesarios para que pueda ser llevado a los ambientes agroindustriales y más específicamente al sector piscícola. Con lo anterior también se quiere indicar, que el uso previsto del equipo no solamente se ha pensado para dicho sector, también puede ser implementado en sistemas de riego automático, sistemas para la vigilancia del nivel de reservas de agua diferentes a las especificadas en este documento.

Recomendaciones

En cuanto al diseño de la tarjeta electrónica, la PCB se puede realizar en solo una cara, para esto se recomienda utilizar librerías diferentes a las implementadas, debido a que, las librerías que se usaron tienen como condición el corte del área ocupada por el Arduino, si la tarjeta electrónica es realizada por medio de máquina ruteadora y de esta manera se eliminarán los puentes. Además, también se puede obtener una tarjeta electrónica amplia si eso es lo que busca o se tiene proyectado a futuro.

La interfaz básica es una implementación necesaria para conocer y establecer el funcionamiento de los sensores, este medio permite observar las mediciones tomadas por dispositivo de medición, para esto se podría desarrollar que no solo fuese como visualización sino también desarrollar un guardado de datos, debido que se entiende que una persona no va a estar pendiente del sensor, por eso se recomienda el guardado de datos, permitiendo que la persona que se encuentre a cargo del monitoreo del sensor realice otras labores, así obteniendo un equipo automatizado e independiente.

Si el dispositivo no se utiliza se recomienda retirar la batería del dispositivo, esto para optimizar la vida útil del mismo.

Se recomienda ubicar la caja en una posición donde el nivel de radiación solar sea óptimo para garantizar un mejor funcionamiento.

Bibliografía

- [1] E. Tullo, A. Finzi and M. Guarino, "Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy," 10 Febrero 2019. [Online]. Available: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.utp.edu.co/science/article/pii/S0048969718338919>.
- [2] M. Føre, K. Frank and T. Norton, "Precision fish farming: A new framework to improve production in aquaculture," Septiembre 2018. [Online]. Available: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.utp.edu.co/science/article/pii/S1537511017304488>.
- [3] Y. Hu, H. Cheng and S. Tao, "Environmental and human health challenges of industrial livestock and poultry farming in China and their mitigation," Octubre 2017. [Online]. Available: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.utp.edu.co/science/article/pii/S0160412017304749>.
- [4] M. Mariano, P. Huaman, E. Mayta, H. Montoya and M. Chanco, "Contaminación producida por piscicultura intensiva en lagunas andinas de Junín, Perú," Abril 2010. [Online]. Available: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332010000100018.
- [5] E. Zavodny, B. J. Culleton, S. B. McClure, D. J. Kennett and Jacqueline Balen, "Minimizing risk on the margins: Insights on Iron Age agriculture from stable isotope analyses in central Croatia," Diciembre 2017. [Online]. Available: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.utp.edu.co/science/article/pii/S0278416517300661>.
- [6] M. C. Merino, J. J. Restrepo, A. Narvaez, C. Polo, J. Plata and V. Puentes, "LA PESCA Y LA ACUICULTURA EN COLOMBIA," Mayo 2014. [Online]. Available: <https://docplayer.es/6657898-La-pesca-y-la-acuicultura-en-colombia-autoridad-nacional-de-acuicultura-y-pesca-aunap.html>.
- [7] O. d. I. N. U. p. I. a. y. I. agricultura, "Principales programas para la ejecucion del codigo de conducta para la pesca responsable.," 2018.
- [8] F. González, E. Avendaño and A. L. Araque, "Supervision de Ph, redox y turbidez en una planta de tratamiento de agua utilizando WSN (Wireless sensor networks) con tecnologia zigbee.," *Ingenieria, Investigación y Desarrollo.*, pp. 14-21, 2010.
- [9] F. d. P. Gutierrez, "Los recursos hidrobiológicos y pesqueros continentales en Colombia," 2010. [Online]. Available: <http://www.humboldt.org.co/es/test/item/378-los-recursos-hidrobiologicos-y-pesqueros-continentales-de-colombia>.
- [10] D. Ramos, "Diseño de un sistema de monitoreo remoto de parámetros ambientales críticos de la planta piloto de acuicultura de la PUCP," 10 Junio 2011. [Online]. Available: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/538>.

- [11 N. Pérez, J. J. P. Barragán, J. G. M. Bedoya and J. B. P. Bejarano, "Construcción de un sistema de instrumentación para la medición de las variables que intervienen en la piscicultura bajo de condiciones de estanque artificial.," 2010.
- [12 R. Royero, Peces ornamentales de Venezuela, Caracas, 1993.
- [13 R. Laranjeira, Control remoto y autónomo de un sistema de acuicultura., Aveiro, Portugal., 2014.
- [14 SISCODE, "sensores Perú.," Diciembre 2015. [Online]. Available: <http://siscode.com/>.
- [15 F. C. d. Ganaderos, "FEDEGAN," 2018. [Online]. Available: <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/produccion-0>.
- [16 C. d. c. d. Cali, "Panorama de la producción de proteína blanca," 02 Abril 2019. [Online]. Available: <https://www.ccc.org.co/inc/uploads/2019/03/Ritmo-Cluster-PB.pdf>.
- [17 O. d. l. n. u. p. l. a. y. l. agricultura, "Visión general del sector acuícola nacional," [Online]. Available: http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_colombia/es#tcN700DA.
- [18 M. C. Merino, "Acuicultura en Colombia," [Online]. Available: <https://www.aunap.gov.co/images/convenio/presentacion-tecnica-acuicultura-en-colombia.pdf>.
- [19 L. F. Collazos Lasso and J. A. Arias Castellanos, "Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT)," vol. 19, pp. 77-86, 2015.
- [20 L. Luchini, "TILAPIA: SU CULTIVO Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN," 2006.
- [21 L. Y. Rojas, V. H. Tique and J. J. Bocanegra, "Uso de herramientas tecnológicas en la producción piscícola: una revisión sistemática de literatura," pp. 47-57, 2017.
- [22 C. H. Velandia, "Monitoreo y control de un estanque para producción piscícola," 2019.
- [23 A. L. B. Alvarado, "Sistema de monitoreo de estanques truchas San Isidro," 2014.

- [24 H. G. Carrión and C. D. Guerrero, "Diseño de un programa de control automatizado para la calidad del
] agua en el proceso acuícola de la tilapia en Namballe-San Ignacio," p. 2018.
- [25 G. Carballo, "Revista electronica de veterinaria," *La importancia del uso de paneles solares en la
] generación de energía eléctrica*, vol. 17, 2016.
- [26 Minagricultura, "Permiso de cultivo," [Online]. Available:
] <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Paginas/Decreto-1071-2015/SECCION-10--Permiso-de-cultivo.aspx>.
- [27 E. C. D. L. R. D. COLOMBIA, "Proyecto de Ley 025 de 2014," 2014. [Online]. Available:
] <http://leyes.senado.gov.co/proyectos/images/documentos/Textos%20Radicados/proyectos%20de%20ley/2014%20-%202015/PL%20025-14%20EMBALSES%20ARTICULOS.pdf>.
- [28 TRITEC, "TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS," [Online]. Available: <https://www.tritec-intervento.cl/productostritec/tipos-de-paneles-fotovoltaticos/>.
- [29 J. P. Ledesma, "CTM Electronica," [Online]. Available:
] <http://www.ctmelectronica.com.ar/documents/Descargables/NT-Paneles%20solares.pdf>.
- [30 J. D. R. Juan Miguel Devilleros, "CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN,"
] p. 59, 2019.
- [31 Electronilab. [Online]. Available: <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-distancia-de-ultrasonido-hc-sr04/>.
- [32 E. Factory. [Online]. Available: <https://www.geekfactory.mx/tutoriales/tutoriales-arduino/sensor-ultrasonico-hc-sr04-y-arduino/>.